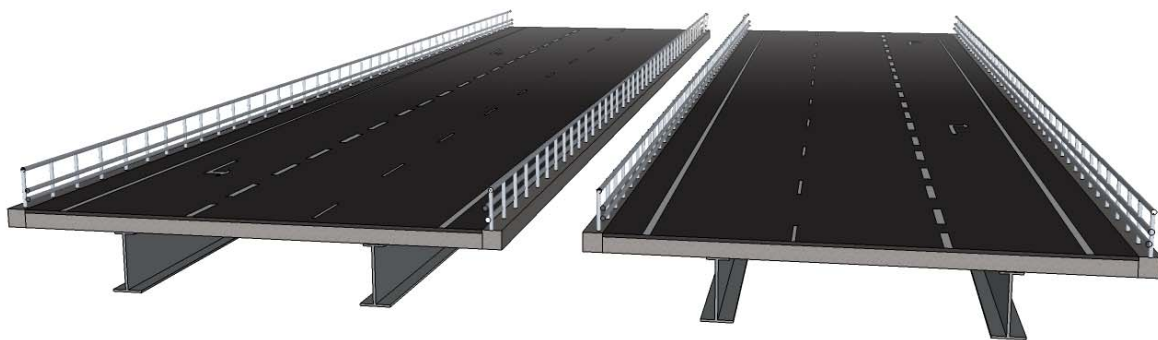


CHALMERS



Motorvägsbro över ån Ätran i Ulricehamn

– Konceptuell design och dimensionering av brokoncept

*Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet
Väg- och Vattenbyggnad*

FILIP BOZIC
STEFAN OLANDER
MARTIN OLSSON
SVANTE SEVERINSSON
LINA TERNER
OLLE VALENTIN

Institutionen för Bygg-och Miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2014
Kandidatarbete nr 2014:41

Motorvägsbro över ån Ätran i Ulricehamn
– Konceptuell design och dimensionering av brokoncept
Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet
Väg- och Vattenbyggnad

FILIP BOZIC
STEFAN OLANDER
MARTIN OLSSON
SVANTE SEVERINSSON
LINA TERNER
OLLE VALENTIN

Institutionen för Bygg-och Miljöteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Ett av Sveriges viktigaste transportstråk är idag sträckan mellan Göteborg och Stockholm. En satsning genomförs för att bygga ut hela sträckan till mötesfri väg. Som en del av satsningen ska ombyggnad av riksväg 40 genomföras utanför Ulricehamn där Trafikverket har beslutat att en vägbro av motorvägsstandard ska projekteras över ån Ätran. Denna rapport lämnar förslag på val av brotyp samt dess utformning som ett resultat av en preliminär dimensionering.

Flera olika material och brotyper beskrivs och utreds med avseende på dess lämplighet för det aktuella projektet. Detta görs med utgångspunkt ifrån Trafikverkets tekniska beskrivning samt den omgivande miljön med tillhörande miljökrav. Brotypernas lämplighet bedöms sedan utifrån relevanta kriterier, där miljöpåverkan och produktionsmetod är två betydande kriterier som kraftigt påverkar valresultatet.

Den mest lämpade brotypen bedöms vara en samverkansbro med I-tvårsnitt upplagd på två ändstöd. Brons totala längd inklusive anslutande påldäck uppgår till 46 meter. Det kommer produceras två fristående broar, en i vardera körriktning, med en bredd på 13,5 meter per bro.

I den preliminära dimensioneringen behandlas endast utformning av överbyggnaden. Dimensioneringen baseras på en kombination av tänkbara trafiklast.

Nyckelord: Samverkansbro, I-tvårsnitt, Stålbalk, Preliminärdimensionering.

Omslag:

Konceptuell bild av det färdiga brokonceptet.

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2014

Highway bridge across Ätran
- Conceptual design and dimensioning of bridge concept
Bachelor Thesis
Building and Civil Engineering

FILIP BOZIC
STEFAN OLANDER
MARTIN OLSSON
SVANTE SEVERINSSON
LINA TERNER
OLLE VALENTIN

Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

One of Sweden's most important transport routes today is the route between Gothenburg and Stockholm. As a part of an ongoing project to transform the entire route to a collision-free path Route 40 will be rebuilt in the northern outskirts of Ulricehamn. The Swedish Transport Administration has decided to project a highway bridge over Ätran. This report presents a proposal for the bridge concept and its construction as a result of a preliminary design.

Several different materials and types of bridges are described and investigated with regard to its suitability for the project. The investigation is based on the technical description from the Swedish Transport Administration as well as the surrounding environment and related environmental requirements. The suitability of the different types of bridges is assessed based on relevant criteria, for example the environmental impact and the design of the bridge are two important criteria.

The most suitable type of bridge is considered a steel concrete composite bridge with I-girders supported by bearings at each end. The total length of the bridge, including the connecting pile deck, amounts to 46 meters. The final result will be two separated bridges, one in each direction, with a width of 13.5 meters per bridge.

In the preliminary dimensioning, the design of the superstructure is the only design which is taken in consideration. The dimensioning is based on a combination of possible traffic loads.

Key words: Composite bridge, Cross section of I-beam, Steel beam, Preliminary dimensioning.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	V
BEGREPPSFÖRKLARING	VII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	1
2 Förutsättningar och krav	2
2.1 Teknisk beskrivning	2
2.2 Geotekniska förhållanden	2
2.3 Klimatförhållanden	4
2.4 Beställarens krav	4
2.5 Förutsättningar för produktionen	4
2.6 Lokala miljömål	5
2.7 Övriga krav	6
3 Beskrivning av olika konstruktionsmaterial	7
3.1 Stål som konstruktionsmaterial	7
3.2 Trä som konstruktionsmaterial	8
3.3 Betong som konstruktionsmaterial	10
3.4 Fiber Reinforced Plastic	13
4 Grundläggning och infästning för broar	14
4.1 Metoder för grundläggning	14
4.2 Landfästens funktion	15
5 Beskrivning av brotyper	16
5.1 Balkverkan	16
5.2 Linverkan	20
5.3 Bågverkan	21
5.4 Fackverksbroar	23
5.5 Rörliga broar	24
6 Produktionsmetoder för olika brotyper	25
6.1 Produktionsmetod för stålbroar	25
6.2 Produktionsmetod för betongbroar	26

6.3	Produktionsmetod för träbroar	28
7	Underhåll av broar	30
7.1	Inspektionstyper	30
7.2	Broskador	31
8	Ekonomi och estetik vid broproduktion.....	33
8.1	Inverkan av ekonomi	33
8.2	Brons estetiska betydelse	33
9	Utvärdering av brotyper och val av brokoncept	35
9.1	Olämpliga brotyper och material.....	35
9.2	Lämpliga brotyper	35
9.3	Beslutskriterier vid val av brokoncept	36
9.4	Viktning av kriterier	37
9.5	Jämförelse av brokoncept.....	37
9.6	Värdesättning av brokoncept.....	41
10	Slutgiltigt brokoncept.....	42
10.1	Utformning av slutgiltigt brokoncept.....	42
10.2	Produktionsplan.....	46
10.3	Underhållsplan	48
10.4	Totalkostnad	49
11	Preliminär dimensionering	50
11.1	Dimensionerande moment och tvärkrafter.....	50
11.2	Dimensionering tvärled	52
11.3	Dimensionering längsled.....	55
12	Resultat dimensionering	56
12.1	Tvärledsdimensionering	56
12.2	Längsledsdimensionering	60
13	Diskussion	62
13.1	Framtagning av brokoncept.....	62
13.2	Dimensioneringsprocessen.....	62
13.3	Beräkningar	63
13.4	Återstående dimensionering	64
13.5	Överlagsberäkning för kostnader	65
13.6	Källkritik	65
14	Slutsats	66
15	Referenser.....	67

Förord

Rapporten är skriven som en del i ett kandidatarbete utfört av sex studenter studerande tredje året på civilingenjörsprogrammet väg-och vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet omfattar 15 högskolepoäng och ingår i civilingenjörsutbildningen som totalt omfattar 300 högskolepoäng. Under hela vårterminen 2014 har arbetet pågått för att ta fram ett koncept på en bro som sedan har utformats för att klara givna krav.

Vi vill passa på att framföra våra tack till universitetslektor Joosef Leppänen samt forskarassistent Rasmus Rempling på avdelningen för konstruktionsteknik vid Chalmers tekniska högskola som varit behjälpliga och alltid svarat på frågor. Vi vill också tacka vår handledare Staffan Lindén på COWI som varit ett stöd gång och svarat på många av de frågor som uppstått under arbetets gång. Vi vill också rikta stora tack till de personer som varit och föreläst för oss inom kursen och på så sätt bidragit med mycket information och inspiration.

Göteborg maj 2014

BEGREPPSFÖRKLARING

Brobanaplatta	Platta av betong som upptar tryckkrafter och trafiklaster vilka överförs till huvudbärverket.
Brottsgränstillstånd	Det tillstånd då konstruktionen är på gränsen att förlora hela sin bärförmåga.
Bruksgränstillstånd	Det tillstånd då konstruktionen är på gränsen att förlora sin funktion vid normal användning.
Erektionsprocessen	Uppresningsfasen vid lansering av balkar.
Eurocode	Europeiska dimensioneringsregler för bl.a. bärverk till byggnader och anläggningar.
Friktionsvinkel	Maximal vinkel ett stackat granulärt material kan anta innan det rasar.
Grusskift	Mur på landfäste som tar upp exempelvis jordtryck från övre delen av anslutande bank.
HHW	Högsta högvattenstånd i exempelvis en å. Används som beteckning med tillägg för hur lång tidsperiod som avses.
Kantbalk	Löper längs med bron och fungerar som infästning för sidoräcken.
Karbonatisering	En process där koldioxid tränger in och bryter ner det betonglager som skyddar armeringsstängerna från rostangrepp.
Konstruktionshöjd	Vertikalt avstånd mellan toppen på vägbanan och underkanten på bron.
Körbana	Del av väg där fordonstrafik är tillåten. Består av ett eller flera körfält.
Lanseringsnos	Relativt konstruktionen en lättare del som monteras längst fram för att minska avståndet till närmaste stöd vid produktionsmetoden lansering. Minskar det tillfälliga momentet i konstruktionen.
Prefabricering	Att förtillverka konstruktionsdelar som sedan sammanfogas på byggplatsen.
Påldäck	En grundplatta understödd av pålar.
Spann	Den del mellan två upplagspunkter som saknar stöd.
Spännvidd	Avståndet mellan två upplagspunkter på en bro.
Studs	Förbindare mellan betongplatta och stålbalkar i samverkansbroar.
Topografi	Fysisk form på terräng.
Underbyggnad	Konstruktionsdelar belägna under överbyggnaden, samt över grundläggningen, exempelvis stöd, vingmur och pelare.
Vot	Successiv ökning av brobalkhöjd närmare stöd.
ÅDT	Årsdygntrafik. Genomsnittligt antal fordon per dygn under ett år.
Överbyggnad	Inkluderar de delar av bron som är belägna ovanför stöd.

1 Inledning

Riksväg 40 binder tillsammans med E4:an ihop sträckan mellan Göteborg och Stockholm. I ett pågående projekt ska hela vägsträckan bli mötesfri väg. Som en del i projektet kommer riksväg 40 genom Ulricehamn flyttas ut från sin nuvarande dragning genom staden och byggas om till mötesfri väg av motorvägsstandard.

1.1 Bakgrund

Det har funnits planer på att bygga ut riksväg 40 till mötesfri landsväg/motorväg hela sträckan från Göteborg till Jönköping ända sedan början av 1990-talet (Trafikverket, 2014). Med den nya dragningen av vägen norr om Ulricehamn avses att kraftigt förbättra boendemiljön vid den idag befintliga vägen. Ökad trafiksäkerhet och framkomlighet är också önskvärda följder av projektet. Den nya sträckningen kommer att innehålla 13 vägbroar samt en vägtunnel (Trafikverket, 2014).

1.2 Syfte

Projektet syftar till att projektera en bro på riksväg 40 som går över ån Ätran. Den aktuella bron ska uppfylla alla ställda krav och förutsättningar som gäller för området.

1.3 Avgränsningar

Framtagning av lämpligt brokoncept bygger på verklighetsbaserade parametrar där hänsyn tas till omgivning, markförhållanden, geografisk placering, lokala miljömål, konstruktionsmaterial, tillgängliga produktionsverktyg samt estetik.

Ur dimensioneringssynpunkt anses grundläggningsförhållandena, oberoende av brokoncept, vara likvärdiga. De ekonomiska aspekterna för varje brokoncept beaktas ej i lika stor utsträckning som vid en verklig broprojektering.

Den preliminära dimensioneringen inkluderar dimensionering av bärande delar i bron överbyggnad. Bron dimensioneras och stålbalkar, ovanliggande betongplatta samt sammankoppling mellan stålbalk och broplatta måttas utifrån valda materialkvaliteter för att sedan kontrolleras för avsedd trafiklast.

1.4 Metod

Projektet delas huvudsakligen upp i två olika etapper. Den första etappen består av en litteraturstudie där olika brotyper granskas med avseende på de givna förutsättningarna för det aktuella området. Efter detta tas olika koncept fram genom en mer ingående granskning av de olika brotypernas material och utformning. De mest lämpade brotyperna jämförs sinsemellan med hjälp av väl avvägda beslutsmatriser som innefattar kriterierna miljö, estetik, produktion, underhåll, och ekonomi.

Etappen innefattar också det slutgiltiga valet av brokoncept som görs gemensamt av gruppen utifrån beslutsmatriserna. Litteraturstudien grundar sig mest på Trafikverkets handbok ”Broprojektering” men även andra underlag kommer användas såsom nyhetsartiklar, tidsskrifter samt sökningar i Chalmersbiblioteket.

Den andra etappen behandlar det valda brokonceptet i form av lastframtagning, preliminärdimensionering, detaljutformning samt verifiering.

2 Förutsättningar och krav

Innan val av brotyp görs behandlas vissa krav och förutsättningar för platsen där bron ska byggas.

För projektet finns ett antal krav och förutsättningar som gäller för projekteringen av den nya bron. Dessa finns utförligt beskrivna i Trafikverkets tekniska beskrivning och i förslagsritningen upprättad av COWI, se Bilaga 1. Det finns också krav och förutsättningar gällande miljömål som måste uppfyllas. Dessa behandlas i avsnittet nedan tillsammans med en kortare teknisk- och geoteknisk beskrivning. Även klimatförutsättningar i området beaktas.

2.1 Teknisk beskrivning

Riksväg 40 (Göteborg - Ulricehamn) skall dras en bit norr om Ulricehamn. Bron kommer korsa Åtran och ska dimensioneras för 3 körfält i vardera körriktning med en bredd på 3,5 m per körfält. I båda körriktningarna kommer en på- respektive avfart ansluta till väg 46 som planskilt korsar väg 40 i syd-nordlig riktning, se Figur 1. Arbetet med bron kommer inte att påverkas av trafik då den byggs några kilometer norr om befintlig sträckning.

Terrängen på båda sidor om Åtran består av åker- och ängsmark och en gångstig sträcker sig på den östra sidan längs ån på nivån +165,2. Ån kommer att grävas ur till nivån +161 m. Marknivån på västra sidan om ån ligger på ca +166 m och på den östra sidan ca +167 m. Åfårans bredd kommer vara ca 10 m efter att den grävts om, se Bilaga 1.

Enligt ritningen, se Bilaga 1, kommer bron ha en nödvändig horisontalkurva med radien 1150 m och en konvex vertikalkurva med radien 6500 m. Brons västra fäste återfinns på nivån +170 m och det östra fästet på +170,8 m. Med tanke på horisontalkurvan så kommer fästet på ena sidan förskjutats med 1 m i sidled.



Figur 1 Omkringliggande byggnader och natur, den röda markeringen är platsen där brobygget planeras (Trafikverket, 2012c).

2.2 Geotekniska förhållanden

Markförhållandena är förhållandevis dåliga ur brobyggnadssynpunkt. De översta lagren består av en låg relativ fasthet vilket bidrar till de dåliga markförhållandena. Den relativa fastheten i marken succesivt ökar med djupet till en högre relativ fasthet närmare berg, se Bilaga 1.

På Ätrans västra sida är djupet till berg 69 meter inom aktuellt område. Jordlagerföljden presenteras i Tabell 1.

Tabell 1 Jordlagerföljden på Ätrans västra sida.

Djup [m]	Jordlager	Relativ hållfasthet
0-2	Siltig sand	Låg
2-9	Siltig finsand och sand/torv	Mycket låg
9-12	Siltig lera	Mycket låg
12-31	Silt och finsand	Medelhög – hög
31-62	Stenig sand och grus	Hög – mycket hög
62-69	Blockig bottenmorän	Mycket hög
69 - ...	Berg	

På Östra sida är djupet till berg mellan 72 meter inom aktuellt område. Jordlagerföljden presenteras i Tabell 2.

Tabell 2 Jordlagerföljden på Ätrans östra sida.

Djup [m]	Jordlager	Relativ hållfasthet
0-2.5	Siltig sand	Låg
2.5-8	Siltig finsand och sand/torv	Mycket låg
8-50	Silt och finsand	Mycket låg – mycket hög
50 - 62	Stenig sand och grus	Mycket hög
62-72	Blockig bottenmorän	Mycket hög
72 - ...	Berg	

Karakteristisk inre friktionsvinkel $\Phi'k$ bedömda värden:

- *Mycket låg relativ fasthet: $\Phi'k=28^\circ$*
- *Låg relativ fasthet: $\Phi'k=30^\circ$*
- *Medelhög relativ fasthet: $\Phi'k=33^\circ$*
- *Hög relativ fasthet: $\Phi'k=35^\circ$*
- *Mycket hög relativ fasthet: $\Phi'k=39^\circ$*

2.3 Klimatförhållanden

Årsmedeltemperatur i området kring Ulricehamn uppgår till 6 °C (SMHI, 2013). Normaldygnets minimitemperatur uppgår till -7 °C (februari) medan normaldygnets maximitemperatur uppgår till 20 °C (augusti). De genomsnittliga datumen för vinterns början och slut i området är 25 november respektive 20 mars. Det betyder att medeltemperaturen i genomsnitt under denna tidsperiod ligger under 0 °C. Den uppmätta årsmedelnederbörden uppgår till 700 mm relativt jämnt fördelad över månaderna.

Högsta högvatten (HHW-50år) är +166,9 m, medan lägsta lågvatten (LLW-50år) uppgår till +163,1 m, se Bilaga 1.

2.4 Beställarens krav

Trafiken över bron beräknas till en ÅDT på 12 000 år 2015 och 15 100 år 2035 vilket bron och tillhörande vägbana skall dimensioneras för. Andel tung trafik förutsätts vara 22 %. Personbilar förutsätts ha dubbdäck under perioden 1 oktober till 30 april. Det ska också förutsättas att vägbanan saltas.

Bron skall dimensioneras för eventuella hinder och tunga uppställningsfordon på och vid sidan av vägbanan.

Bullernivån från trafiken på bron skall hållas inom de reglerade gränserna i det aktuella området. Inga nya störningar på närliggande byggnader eller verksamheter skall uppstå på grund av buller.

Den totala brolängden ska vara 46 m och bron ska ha en livslängd på 80 år. Det valda brokonceptets totalkostnad (inklusive underhåll) får ej vara märkbart högre än dess alternativ.

Omfattande krav på estetik existerar ej, däremot skall bron sammanfalla med den omgivande naturen och byggnader/konstruktioner. Estetiken får inte heller påverka brobyggets ekonomi negativt mer än nämnvärt.

Vanligtvis för varje projekt ges också av beställaren en tidsplan som inte får överskridas. I detta projekt finns dock ingen tidsplan angiven.

2.5 Förutsättningar för produktionen

Vattendjupet i ån under bron kan variera mellan 1,5 m och 3,5 m under produktionens gång. Utgrävningar för den nya åfårans sträckning kommer att göras innan produktionsstart.

Medelbredden på den nya åfåran kommer vara 10 m. Den nya åfåran kommer att svänga svagt från öst till väst.

Underkant balk får som lägst befinna sig på nivån +167,3 m, vilket innebär att maximal konstruktionshöjd blir 2,7 m. Vid maximalt utnyttjad konstruktionshöjd på bron kommer den fria höjden under balken mot marken variera mellan ca 0,3 m (vid ändstöden) och ca 2 m (över ån). Vid HHW (50 år) kommer den fria höjden över ån vara ca 0,3 m om maximal konstruktionshöjd utnyttjas.

Eventuella temporära konstruktioner för att förbättra brons aerodynamiska egenskaper anser Per-Ola Svahn¹ ej nödvändigt då brons längd (46 m) är för kort för dessa typer av säkerhetsåtgärder.

2.6 Lokala miljömål

Den nya sträckningen kommer att till största del gå igenom kuperad skogs- och jordbrukslandskap (Trafikverket, 2010). Bron över Ätran ligger i ett så kallat sekundärt vattenskyddsområde (Ulricehamns kommun, 2013a). Vid byggnationen av bron kommer särskilda krav att ställas på upplag, hantering av kemikalier, dagvatten avledning, schaktning, grundläggning, hantering av asfalt, oljegrus och vägsalt (Ulricehamns kommun, 2014b).

I ån Ätran bedrivs också ett öringsprojekt av Miljö- och samhällsbyggnadskontoret i Ulricehamns kommun tillsammans med de lokala fiskevårdsområdena (Ulricehamns kommun, 2007). Ån innehåller unika öringar som inte finns på någon annan plats.

2.6.1 Upplag

Ett upplag är ett ställe där material läggs öppet och direkt på marken (Ulricehamns kommun, 2014c). Upplag med förorenade massor eller avfall är förbjudet inom Ulricehamns kommuns vattenskyddsområde, däremot krävs det inget tillstånd för rena jordmassor. Om tvivel förekommer på jordmassornas renhet måste prover tas, till exempel om jorden kommer ifrån en tidigare industriverksamhet. Vid upplag med asfalt, oljegrus, vägsalt och dammbindningsmedel krävs tillstånd från Miljö- och samhällsbyggnadskontoret i Ulricehamns kommun. Maskiner och arbetsfordon bör inte ställas upp närmare än 50 m från vattendrag. Uppställningsplatser för maskiner måste ske på en tät yta bestående av t.ex. asfalt. Den täta ytan bör också vara invallad så att eventuella föroreningar inte kan nå marken kring uppställningsplatsen. Arbetsfordon skall vara utrustade med saneringsutrustning t.ex. absorptionsmedel.

2.6.2 Schaktning och grundläggning

Vid schaktarbete som medför större mängder än cirka 200 m³ eller om arbetet på något sätt kan skada grundvattnet krävs tillstånd från Miljö- och byggnämnden (Ulricehamns kommun, 2014d). Om uppkomst av förorenade massor uppdragas vid grävning skall detta rapporteras. Vid spridning av förorenade massor hålls entreprenören som ansvarig vilket kan leda till stora saneringskostnader. Även återfyllnad av förorenade massor eller massor med okänd miljöstatus är förbjudet. Grundläggning med pålning, spontning, underjordsarbete eller borring kräver tillstånd.

2.6.3 Kemikalier

När den sammanlagda mängden kemikalier av t.ex. petroleumprodukter, syror, impregneringsmedel eller lösningsmedel överskrider 250 liter vid samma tillfälle, ej inräknat drivmedel i fordon, krävs det tillstånd från Ulricehamns kommun (Ulricehamns kommun,

¹ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

2014e). Om kemikalierna förvaras utomhus så måste detta ske i en tät dubbelmantlig behållare som rymmer hela volymen.

2.6.4 Dagvatten

Anläggning av dammar med oljeavskiljare kommer att byggas för att undvika att förorenat dagvatten släpps ut i recipienten. Beläggningen på vägen skall vara tät så inget dagvatten läcker ner i grundvattnet, se Bilaga 1.

2.7 Övriga krav

De material som väljs ska vara godtagbara ur miljö- och hälsosynpunkt. För material och produkter ska en tydlig uppmärkning genomföras innan installationen tas i bruk. Fyllning mot bron underbyggnad skall utföras med förstärkningsmaterial (0-90 mm) upp till terrassnivå. För att inte skada eventuella betongkonstruktioner skall fyllningen ske med försiktighet.

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm.

Arbeten för schaktning och fyllning ska ske inom en tillfällig spont och då även i torrhet enligt Bilaga 1.

2.7.1 Krav gällande tätskikt och beläggning

Bron ska förses med en beläggning på 40 mm slitlager, kombinerat skydds och bindlager på 50 mm och med 15 mm skyddslager. En isoleringsmatta placeras på bron och anslutande pådäck. En fogmassa i slitlagret längs kantbalkarna utförs med samma djup som slitlagret och en bredd på 20 mm enligt Bilaga 1.

2.7.2 Slänt och kon

Slänter får inte utföras brantare än lutning 1:1,7 i anslutning till bron, dessa ska kläs med släntkappor som består av 100 mm växtjord. Ett erosionsskydd bestående av 500 mm naturgrus ska täcka brokoner upp till nivån +167, se Bilaga 1.

3 Beskrivning av olika konstruktionsmaterial

Detta kapitel syftar till att beskriva de vanligaste konstruktionsmaterialen trä, stål och betong. Även det nya konstruktionsmaterialet FRP (Fiber Reinforced Plastic) beskrivs kortfattat. Materialens egenskaper står till grund för vilket material som väljs till respektive brotyp.

3.1 Stål som konstruktionsmaterial

Stål är ett material där grundämnet järn är huvudbeståndsdel. Legeringsämnen som finns i stål är framförallt kol men även andra ämnen som mangan och kisel är vanligt förekommande (Burström, 2007). Mindre mängder av andra legeringsämnen kan också förekomma. Ökad kolhalt ger en högre hårdhet och hållfasthet. Segheten i stålet försämras däremot med ökad kolhalt. I moderna stål ligger normalt kolhalten på mindre än 0,18 %.

3.1.1 Stålframställning

Malm är en kemisk förening som är rik på järn (Burström, 2007). Malm bryts från gruvor och innehåller stora delar gråberg som måste avlägsnas. Anrikning av malmen innebär krossning och bortsortering av bitar med lågt järninnehåll. Nu kallas materialet för slig och har formen av en finkornig sand. Sligen sintras, d.v.s. den värms till 1250°C och bildar större bitar. I masugnen smälter järnet och löser cirka 4 % kol som kommer av att koks tillsätts i masugnen. Tackjärnet som fås ur masugnen är inte användbart för valsning av balkar och plåt då det är sprött på grund av hög kolhalt. Därför avlägsnas större delen av kolet i en så kallad färskningsprocess. Därefter gjuts stålet för att användas till olika stålprodukter.

3.1.2 Risker vid stålanvändning

En fara vid användning av stål är risken för korrosion. Stål riskerar att utsättas för korrosion i luftmiljöer med mer än 60 % relativ fuktighet (Burström, 2007). Olika faktorer som t.ex. salthalt och pH-värde påverkar korrosion i vattenmiljöer. Vanligaste skyddet mot korrosion är rostskyddsmålning. Andra metoder som används är förzinkning, emaljering och användning av korrosionshårdiga legeringar.

Stål är obrännbart men uppvisar stor minskning av hållfastheten med ökad temperatur (Burström, 2007). Stålets stora värmeledningsförmåga leder också till att stora temperaturbetingade rörelser uppkommer i materialet. Detta kan leda till att intilliggande spröda konstruktioner tar skada. För att skydda stål mot alltför snabba temperaturväxlingar kan stål ingjutas i betong. Brandskyddsfärg som sväller upp vid brand och på så sätt skyddar stålet mot snabb temperaturväxling kan också användas.

3.1.3 Stålets hållfasthet

När stål utsätts för dragspänning genomgår det olika deformationsfaser. Till en början uppkommer elastiska deformationer där töjningen i stort sett är proportionell mot spänningen (Al-Emrani et al., 2011). Dessa elastiska deformationer återgår när stålet avlastas. När en viss spänning i stålet är uppnådd uppkommer stora deformationer utan spänningsökning. Denna spänning kallas flytspänning, d.v.s. stålet flyter. Ökar spänningen ytterligare i stålet sker ett deformationshårdnande. Deformationer i stålet gör att det blir midjebildning, det vill säga att arean på ett snitt av provet minskar. När midjebildning börjar har provets brottlast uppnåtts, det är den maximala lasten provet kan bära.

3.1.4 Stålprodukter

Stål används i många olika produkter inom byggindustrin, exempelvis vid tillverkning av armeringsstänger. Armeringsstänger häftar kemiskt fast vid betongen men då denna kemiska vidhäftning inte är så stark förstärks vidhäftning med hjälp av friktion. För att uppnå detta valsas kammar eller profiler på stängens yta. En annan vanlig produkt inom byggindustrin är stålbalkar. Stålbalkar kan produceras genom valsning eller svetsning. Valsade balkar finns i form av U-balkar, I-balkar och HE-balkar och utförs i standarddimensioner. Svetsade balkar ger en större möjlighet att helt välja profil utefter behov.

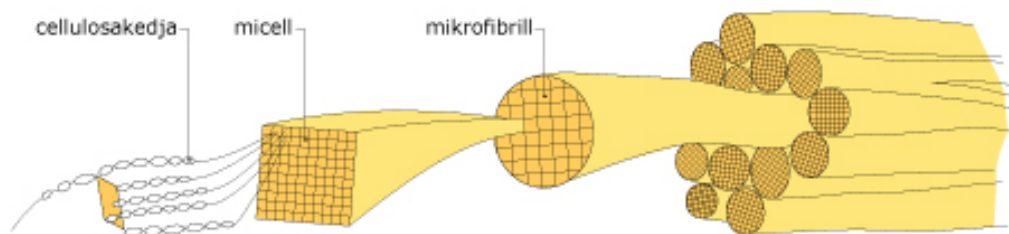
3.2 Trä som konstruktionsmaterial

Utav dagens byggmaterial är trä fördelaktigt i många aspekter. Trä är ett relativt lätt material med låg produktionskostnad och flera miljömässiga fördelar (Svenskt Trä, 2013). Då trä är ett levande material krävs goda kunskaper om materialets egenskaper. Genom rätt behandling kan konstruktionerna få rätt arkitektonisk utformning, goda hållfasthetsegenskaper och en lång livslängd.

3.2.1 Hållfasthet för trä

Det finns många faktorer som påverkar kvaliteten och hållfastheten hos materialet trä. Först och främst beror det på vilken typ av trä som används, men även faktorer som plantans egenskaper, naturliga variationer och störningar, klimatet och hur väl skogen sköts påverkar kvaliteten på slutprodukten (Svenskt Trä, 2013).

Trä är ett levande material och är därmed uppbyggt av celler. Cellerna är sammankopplade till långa cellulosedjor som i sin tur är sammanlänkade till fibrer. Fibrerna är mellan 0.5 och 6 mm långa och är sammanbundna i en matris av lignin, se Figur 2.



Figur 2 Trästruktur på cellnivå (Svensk Trä, 2013).

3.2.1.1 Drag- och tryckkrafter i trä

På grund av träets anisotropa uppbyggnad varierar egenskaperna och hållfastheten i olika riktningar.

Då trä dras parallellt fibrerna uppstår ett linjärt samband mellan spänning och töjning tills gränsen för skjuvhållfastheten för fibrerna överstigs (Al-Emrani et al., 2011). Då släpper antingen ligninen mellan fibrerna eller så dras fibrerna tvärt av vilket leder till sprött brott. Hållfastheten vid drag parallellt fibrerna är hög och brottspänningen ligger ofta mellan 80-100 MPa.

Om trä istället belastas i drag vinkelrätt fibrerna krävs betydligt mindre kraft för att dra isär fibrerna eller deformera virket. Den maximala hållfastheten för trä belastat vinkelrätt fibrerna kan ofta vara så låg som 0,5 MPa.

Vid tryckbelastning av virket parallellt fibrernas längdriktning samverkar fibrerna och kan därmed ta upp hög belastning. När belastningen blir tillräckligt stor kommer några av fibrerna att knäcka och tränga in bland de hela. Detta innebär att träet fortfarande kan ta upp spänning även om den lastupptagande förmågan sjunker något. Detta fenomen kallas stukning.

Om tryckbelastningen sker vinkelrätt fibrerna kommer de rörformiga cellerna att tryckas ihop. Även om både hållfastheten och styvheten är låg i denna riktning sker inget brott då krafterna sprider sig till nästa lager med rör.

3.2.2 Fuktpåverkan i trä

Trä innehåller i naturligt tillstånd alltid en viss mängd fukt. Vid tillverkning av byggprodukter torkas därför träet till en önskad fuktkvot på 12-18% (Al-Emrani et al., 2011). Virkets fuktkvot kommer sedan anpassa sig till den relativ fuktighet som råder i omgivning det befinner sig. Då trä tar upp vatten binds vattenmolekylerna först till ytan av cellulosan i cellväggarna för att sedan fylla upp cellhålrummen. När cellhålrummen börjar fyllas med vatten har träet uppnått fibermättnadsgränsen (fuktkvot 27-33%). Fuktkvoten påverkar krympning och svällning hos träet, men också de mekaniska egenskaperna. Upp till fibermättnadsgränsen kan brotthållfastheten anses minska linjärt med fuktkvoten för att sedan anta ett konstant värde.

Även belastningstiden har en negativ inverkan på hållfastheten för träkonstruktioner. För böjhållfastheten gäller att hållfastheten efter ett års belastning motsvarar 60 % av hållfastheten vid korttidsbelastning (Al-Emrani et al., 2011).

Eftersom trä är ett levande material måste risken för virkesfel tas med i beräkning av hållfastheten. Ju större trästycket är desto större är risken för brottutlösande virkesfel (Al-Emrani et al., 2011). En stor balkhöjd innebär alltså en lägre medelhållfasthet.

3.2.3 Underhåll av trämaterial

Enligt Vägverket ska träbroar projekteras för en livslängd på 40 eller 80 år, beroende på brotyp (Pousette, 2008). En grundläggande förutsättning för att uppnå dessa livslängder utan omfattande underhåll är att träet bevaras torrt. Om konstruktionen har en fuktkvot över 20 % under en längre tid är risken stor för biologiska angrepp så som rötsvamp vilket har negativ inverkan på hållfastheten.

Konstruktivt träskydd innebär att konstruktionen utformas för att motstå nederbörd, kondens och markfukt (Pousette, 2008). Genom rätt utformning kan träslag med låg naturlig beständighet klara sig bra i utomhusmiljöer under lång tid. De mest kritiska punkterna är ändträ, sammanfogningar, knutpunkter, förband och anslutande trätyor då dessa är känsliga för fuktrörelse, formförändring och sprickbildning. Exempel på konstruktivt träskydd är tak eller annan täckning av konstruktionen och chans till god ventilation. Även avledning av regn och vattensamlingar är exempel på konstruktivt träskydd.

Då det konstruktiva träskyddet inte är tillräckligt eller träet står i direkt kontakt med marken används impregnering med träskyddsmedel för att förhindra röta (Pousette, 2008). I Sverige används saltimpregneringsmedel bestående av kopparföreningar (ofta i kombination med andra föreningar) till brokonstruktioner av trä. Träskyddsmedlen är giftiga för de rötsvampar som angriper trä och förhindrar därmed deras tillväxt. Det impregnerande medlet fixeras till träet genom en industriell process där det får en djup inträngning i virket. Impregneringen har ingen större inverkan på träets fuktrörelser eller sprickbildning.

Ytbehandling av trä sker dels av estetiska skäl och dels för att skydda virket mot fukt och UV-strålning (Pousette, 2008). Genom en ytbehandling med vattenavvisande medel undviks vätnings- och kapillärsugning. Täta ytbehandlingar innebär att fuktutbytet mellan

konstruktionen och omgivningen minskar eller uteblir helt. Ytbehandlingar med pigment som inte släpper igenom UV-ljus skyddar träet mot solen samtidigt som det påverkar temperaturen i konstruktionen och därmed fuktkvoten.

Ur ett miljömässigt synsätt är trä ett fördelaktigt material då det är en naturligt förnybar källa. Om konstruktionerna byggs och underhålls på rätt sätt har de lång livslängd, är enkla att demontera och kan återanvändas. Ur det förbrukade virket kan oftast mer energi utvinnas än vad som gick åt för produktionen av träprodukterna. Ytterligare miljömässig fördel med trä är dess förmåga att binda koldioxid under konstruktionens livslängd.

3.2.4 Träbaserade produkter

Trä som används i byggnadsverk delas in i virkestyper av olika slag och kvalitet. Vilka förhållanden, så som växtplats och klimat som träet vuxit i och vilket träslag det är påverkar virkeskvaliteten (Svenskt Trä, 2013). En annan viktig faktor som har en stor inverkan på kvaliteten är hur virket förädlas på sågverken.

3.2.4.1 Konstruktionsvirke

Konstruktionsvirke är ett hållfasthetssorterat virke som används till bärande konstruktioner och sorteras visuellt eller maskinellt i sågverksprocessen enligt svensk standard (Svenskt Trä, 2013). Virke som är sorterat enligt denna standard märks med sorteringsklass T3–T1 och hållfasthetsklass C30–C18. Hållfasthetsklasserna är enligt europeisk standard men motsvarar i princip de svenska K-klasserna, t.ex. motsvaras C24 av K24. Sifferbeteckningarna står för den karakteristiska hållfastheten.

3.2.4.2 Limträ

Limträ är ett konstruktionselement som är uppbyggt av minst fyra virkesstycken som är sammanlimmade till ett (Skogsindustrierna, 2004). Fiberriktningen ska vara parallell med elementets längd. Genom att sammanfoga virkesstycken kan defekter så som kvistar och fingerskarvar spridas ut i konstruktionselementet och på så vis göra det mer homogent. Detta leder till att limträ vid dimensionering antas ha högre hållfasthet än konstruktionsvirke. Lamelltjockleken är normalt 45 mm som är en normal byggvirkestjocklek i Sverige.

3.2.4.3 LVL

LVL står för Laminated Veneer Lumber och är närbesläktat med kryssfananer (plywood). Det tillverkas genom att tunna faner av gran eller furu limmas samman under högt tryck (Skogsindustrierna, 2004). Tjockleken på LVL-skivor kan ligga mellan 21 och 75 mm. Skillnaden mellan LVL och plywood är att fiberriktningen i alla, eller majoriteten av, fanerskikten är orienterade åt samma håll i LVL-skivor. LVL-element sågas huvudsakligen till balkar som används i bärande system. Vanlig balkbredd är 45 mm och balkhöjden kan uppgå till 900 mm. Likt limträ reduceras inverkan av olika störningar i virket i och med materialets uppbyggnad av tunna skikt (Svenskt Trä, 2013). LVL får därför en förhållandevis hög hållfasthet och variationen i de mekaniska egenskaperna är mycket mindre än för massivt virke.

3.3 Betong som konstruktionsmaterial

Betong är det mesta använda byggmaterialet och står för 50-70 procent av världens infrastruktur (Svensk Betong, 2013). Anledningarna till betongens stora användning är att det är ett allsidigt byggmaterial med flera goda egenskaper. Betong har hög hållfasthet samtidigt som det är enkelt att forma. Ur miljösynpunkt är materialet återvinningsbart och möjliggör konstruktioner med låg energiförbrukning samtidigt som det visar mycket god beständighet mot yttre påverkan.

3.3.1 Betongtillverkning

Betong består av cement, vatten, ballast och tillsatsmedel (Burström, 2007). Cement tillsammans med vatten kallas för cementpasta och utgör betongens bindemedel, eftersom den binder samman ballastkornen. Cementpastans egenskaper beror på proportionen mellan cement och vatten, det så kallade vattencementtalet (vct).

Ballasten i betong består av naturligt bergartsmaterial och beroende på kornstorleken är de uppdelade i sten, grus och sand. Andelen ballast i vanlig betong varierar mellan 65-75% (Burström, 2007). Sammansättningen av de olika kornstorlekarna bör vara så att de hålrum som blir mellan de större kornen kan fyllas med minde korn.

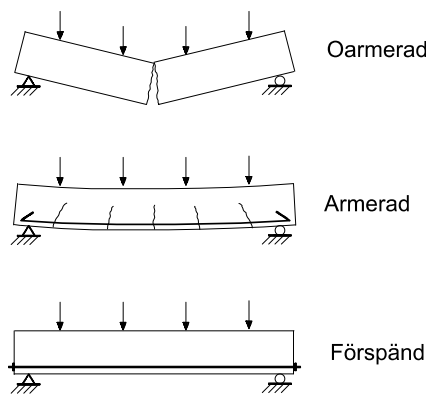
Men hjälp av tillsatsmedel kan både den färska och hårdnade betongen anpassas så den både blir enklare att arbeta med och beständigare (Burström, 2007). Flyttillsatsmedel har en inverkan på betongens konsistens och gör den lättflytande. Detta underlättar gjutningar men gör också att vattenhalten i betongen kan minskas vilket medför ökad hållfasthet och reducerad krympning. Luftporbildande tillsatsmedel används för att skapa många små luftfickor i betongen vilket gör att vattnet i betongen har en expansionsmöjlighet vid frysning. Acceleratorer och retarderande tillsatsmedel påskyndar respektive fördröjer betongens hårdnande vilket gör den mer lättarbetat i olika avseenden.

Genom att variera mängderna av betongens olika beståndsdelar kan dess egenskaper bestämmas utefter krav på beständighet, hållfasthet och arbetbarhet.

3.3.2 Betongens hållfasthet

Karakteristiskt för materialet betong är dess stora tryckhållfasthet och dess betydligt lägre (ca en tiondel) draghållfasthet (Al-Emrani et al., 2011). Den låga draghållfastheten innebär att sprickbildning kan uppkomma i betongkonstruktioner redan vid låga belastningsnivåer. När sprickbildning uppkommit i en betongkonstruktion krävs armering för att uppnå jämnvikt i kraftsystemet, se Figur 3. Armering är ingjutna stänger av stål direkt förankrade i betongen vars funktion är att överföra dragkrafter i konstruktionen efter sprickbildning i de dragna zonerna. Krafterna överförs genom vidhäftning och kontakttryck vilket innebär att gränsskiktet mellan de två materialen har stor inverkan på konstruktionens funktion. Armerad betong skall därför ses som en samverkanskonstruktion. Genom att variera mängden och placeringen av armering kan konstruktören påverka styvhet, momentkapacitet och sprickbildningen. Om armeringen utförs rätt blir sprickorna mindre och jämnt utspridda vilket även minskar risken för korrosion.

Genom att införa dragspänningar i armeringen vid gjutning blir konstruktionen tryckbelastad redan under tillverkning, så kallad förspänd betong. När förspänd betong belastas uppkommer dragbelastning i konstruktionen först när tryckbelastningen från förspänningen avlastats (Al-Emrani et al., 2011). Detta innebär att sprickbildningen helt- (fullständigt förspänd) eller delvis (partiellt förspänd) kan motverkas. Genom att förspänna betongen kan brokonstruktionen göras slankare och med större spännvidder.



Figur 3 Illustration av hur sprickor uppkommer i en betongbalk (Al-Emrani et al., 2011).

3.3.3 Beständighet för armerad betong

Likt alla byggnadsmaterial påverkas betongen av den omgivande miljön. Den yttre påverkan kan delas in i två kategorier: kemiska och fysikaliska angrepp.

De kemiska angreppen kan i sin tur delas in i två grupper beroende på om de löser upp betongen utifrån eller tränger in i betongen och reagerar med dess beståndsdelar. Till den första gruppen hör angrepp från oorganiska syror så som salpeter- salt- och svavelsyra som bryter ner cementpastan (Burström, 2007). Kemiska angrepp inuti betongen kan uppstå då vissa ballastmaterial reagerar med cementpastan och bildar en svällande produkt vilket leder till sprickbildning eller sprängning. Till den senare gruppen hör även armeringskorrosion. I normalfall skyddas armeringsstålet från rostangrepp av betongens höga alkalinitet ($\text{pH} > 12.5$). Då koldioxiden från den omgivande luften tränger in i betongen sker en reaktion med kalciumhydroxid, en så kallad karbonatisering, vilket leder till försänkt pH-värde. När den karbonatiserade zonen når armeringen kan korrosionsprocessen vidta. Korrosionen leder till reducerade tvärsnittsarea och därmed sänkt hållfasthet hos armeringsstångerna. Dessutom upptar korrosionsprodukterna en större volym än armeringsstålet. Denna volymökning kan leda till sprickbildning längs armeringen. Korrosionsförloppet kan också inledas av inträngande klorider.

Till de fysikaliska angreppen hör frostsprängning, saltsprängning och fuktbetingade rörelser. Frostangrepp sker då vatten i betongens porer eller vatten som trängt in i sprickor fryser till is (Burström, 2007). Då vattnet fryser ökar volymen med 9 % vilket leder till ökat tryck och ytterligare sprickbildning. Saltsprängning påverkar betongen på likande sätt då salter från tölsalter eller saltvatten kristalliserar. Även den relativa fuktigheten i omgivningen har inverkan på beständigheten. Då betong torkar drar cementpastan ihop sig och betongen krymper med sprickbildning och kantresning som följd. Vid nedfuktning återgår vatten till porsystemet och betongen sväller igen. Stora svällningar kan leda till sprängning.

Genom att välja betong med lågt vct får betongen ett högre pH-värde, högre hållfasthet och lägre permeabilitet (Burström, 2007). Den förhöjda hållfastheten motverkar sprickbildning som tillsammans med den låga permeabiliteten ger ett ökat skydd för inträngande vätskor och gaser. Det förhöjda pH-värdet i kombination med ett tillräckligt tjockt lager betong minskar risken för korrosion av armeringsstålet.

3.4 Fiber Reinforced Plastic

Fiber Reinforced Plastic är ett nytt byggmaterial som består av plast- och polymermaterial som är förstärkta med glasfiber, kolfiber eller armamidfiber. Denna sammansättning skapar ett material som är lätt och starkt som dessutom har det bra motståndskraft mot nedbrytning. Enligt Valbona Mara² är möjligheterna med materialet många, men ett problem är att det än så länge inte finns riktlinjer i Eurocode. Det finns gamla rörliga broar i stål som har fått en ny brobana i FRP vilket gör att broarna klarar av ökade trafiklast. Element i FRP kan prefabriceras i olika profiler och kan användas som bärverk i broar. Det finns en viss skepticism mot materialet då det ännu inte är känt hur materialet förändras på lång sikt.

² Valbona Mara (Doktorand inom bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 18 februari 2014

4 Grundläggning och infästning för broar

Kapitlet behandlar olika grundläggningsmetoder för uppförandet av stöd till broar. Stöden är mycket viktiga för att ge bron den stabilitet den behöver och de geotekniska förhållandena är ofta avgörande för dess proportioner. Det är också av betydelse att utforma anslutningarna mellan väg och bro på rätt sätt.

4.1 Metoder för grundläggning

Det finns flertalet olika grundläggningsmetoder för att grundlägga stöd till bron. Gemensamt för alla grundläggningsmetoder är att krafter från bron överbyggnad förs ner till undergrunden.

4.1.1 Platta på berg

När berg finns inom ett rimligt djup för att schaktas fram kan metoden med platta på berg användas (Vägverket, 1996). Grundläggningen av plattan bör ske på plant eller plansprängt berg. Vid brostöd längs lutande berg kan sprängning ske i trappstegsformade avsatser. Där stabilitetsproblem föreligger bör bergstekniskt sakkunnig anlitas för att bedöma bergets kvalitet med hänsyn till förekomst av lerslag och sprickzoner.

Då bärförmågan för berg är stor blir oftast plattorna relativt små vilket leder till att vid uppdelade pelarstöd kan det vara fördelaktigt att utföra separata bottenplattor för varje pelare (Vägverket, 1996).

4.1.2 Platta på jord

Grundläggningsnivån och storlek för platta på jord bestäms av krav på jordens bärförmåga och sättningsbenägenhet dvs. vilken typ av jordart marken består av (Vägverket, 1996). Om grunden består av måttligt eller mycket tjälfarligt material läggs plattans underkant på tjälsäker nivå. Bottenplattan bör läggas på minst 0,3 m packad fyllning vid grundläggning på jord med låg bärighet t.ex. kohesionsjord eller löst packad friktionsjord. Ett alternativ är att packa den underliggande jorden.

Gjutning av bottenplattan bör utföras i torrhet. Ligger grundvattenytan över grundläggningsnivå sänks den till minst 0,5 m under grundläggningsnivån (Vägverket, 1996). Sker grundläggning under fri vattenyta är det möjligt att utföra gjutning av bottenplatta i torrhet inom spont. Då gjuts först en tillräckligt tjock tätplatta som inte lyfts vid läns-pumpning.

Består marken av lera eller andra mindre bärkraftiga jordlager t.ex. silt eller organisk jord och djupet till bättre grundläggningsmaterial är relativt litet kan det vara ekonomiskt att ersätta de sämre massorna med packat fyllningsmaterial (Vägverket, 1996). Fyllningsmaterial består ofta av grus eller sprängsten. Packad fyllning kan också användas som uppfyllning från naturlig marknivå för att höja grundläggningsnivåer.

4.1.3 Pålade stöd

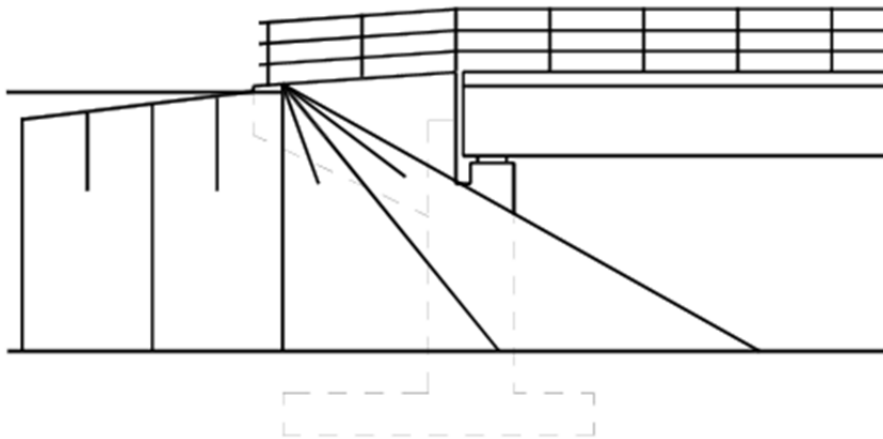
Om marken består av mindre bärkraftiga material och djupet till bättre grundläggningsmaterial är stort används en bottenplatta som vilar på pålar. I Sverige är slagna betongpålar den vanligaste pålningsmetoden för broar (Vägverket, 1996). Vid svårare pålningsförhållanden så som vid blockrik jord eller då risk för vattensprängning föreligger kan stål-pålar vara ett bättre alternativ.

Pålarna är antingen spets- eller mantelbärande. Spetsbärande innebär att lasten fördelas till material med hög bärförmåga genom pålens spets. Bärförmågan består dels av

mantelbärförmåga och dels av spetsbärförmåga. Vilar pålen på berg är spetsbärförmågan dominerande (Pålkommisionen, 2007). Spetsbärande pålar är ekonomiskt om de övre jordlagren är lösa och djupet till fastare lager eller berg understiger 25 m (Vägverket, 1989). Mantelbärande innebär att lasten förs över från manteln till kringliggande material, antingen genom friktion eller genom kohesion. Sker grundläggning i lös eller medelfast lera ligger hela spänningsfördelningen på manteln genom kohesion. Består kringliggande material istället av friktionsjord utgörs den geotekniska bärförmågan av både mantel- och spetsbärförmåga (Pålkommisionen, 2007). Friktionspålning är aktuellt då djupet till fastare jordlager överstiger 25 m (Vägverket, 1989).

4.2 Landfästens funktion

Landfästen är en fristående avslutning på bron och ska både bära laster från överbyggnaden och laster från anslutande bank (Vägverket, 1996). Landfästen grundläggs ofta med platta på mark (Banverket, 1996), se Figur 4.



Figur 4 Exempel på fristående landfäste (Banverket, 1996).

För att förhindra ras orsakade av höjdskillnader och ge stabilitet åt slänterna vid bropåfarten används vingmurar (Vägverket, 1996). Det är viktigt att vingmurarnas dimensioner blir tillräckligt långa för att klara höjdgeometrin för givna släntlutningar. En för kort vinglängd försvårar motfyllningsarbeten och kan medföra erosionsproblem.

Vinkeln mellan ändskärm och vingmur samt vingmurens längd bestäms utifrån jordens förutsättningar och packningsmaterialets egenskaper (Vägverket, 1996). För stora vingmurar kan vid kortare spännvidder vara alltför dominerande, ur en estetisk synvinkel. Ett riktvärde är att vingmurarna inte bör vara längre än bronns fria spännvidd eller totala brobredd.

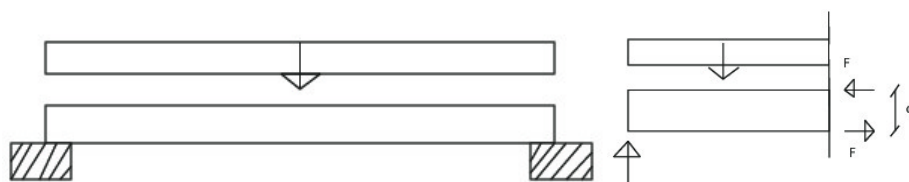
5 Beskrivning av brotyper

Alla broar består dels av en överbyggnad och dels en underbyggnad. Enligt Mario Plos³ är överbyggnadens roll att ta upp trafiklaster i huvudbärverket och i sekundärbärverket. Underbyggnaden ska föra ner lasterna från överbyggnaden till grunden.

Broar kan delas upp i olika kategorier på ett flertal olika sätt. Ett sätt är att kategorisera dem efter typen av trafik som ska färdas över, exempelvis vägbroar, järnvägsbroar och gång- och cykelbroar. Broar kan också delas in i vilket typ av material de är utförda i. Ett annat sätt att dela upp broar på är fasta, rörliga och flytande broar. I denna rapport är broar uppdelade efter dess konstruktions verkningssätt. De brotyper som berörs är plattbroar, balkbroar, rörbroar, fackverksbroar, bågbroar, snedkabelbroar, hängbroar och rörliga broar beskrivs.

5.1 Balkverkan

Detta avsnitt behandlar de brotyper som alla har ett fungerande verkningssätt genom balkverkan. Gemensamt för dessa broar är att de bär last via böjning, se Figur 5.



Figur 5 Till vänster utbredd last på en balk och till höger kraftfördelning på ett balkelement.

Balkverkanbroar kan konstrueras som enspannsbroar eller flerspannsbroar med mellanliggande stöd (Vägverket, 1996). Stål eller betong kan användas som byggnadsmaterial för huvudbalkarna medan brobanepattan i regel tillverkas av betong. Broar helt byggda i betong kan vara slakarmerade, företrädesvis enspannsbroar, eller spännarmerade för större spännvidder. Olika tvärsnittsform kan också användas där exempelvis ett lådtvärsnitt används för längre spännvidder och vid krav på mycket vridstyv överbyggnad.

Trä kan också användas som byggnadsmaterial för huvudbalkarna i form av limträbalkar. Däremot är den fria spännvidden då begränsad till ca 25 m (Vägverket, 1996).

5.1.1 Balkbro i betong

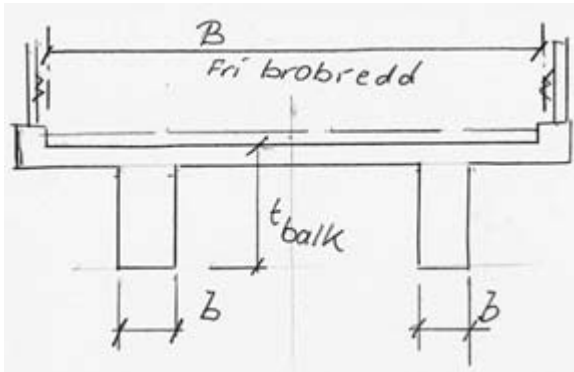
Balkbroar används ofta där det finns befintliga landfästen och kan även användas som tillfällig bro eller vid ombyggnationer (Vägverket, 1996). Balkbron har bärande huvudbalkar i betong och antalet varierar beroende på körbanans bredd men framförallt på den aktuella trafiklasten. En hög trafiklast kräver fler bärande huvudbalkar.

Höga huvudbalkar är fördelaktigt ur teknisk och ekonomisk perspektiv men kan utgöra ett problem vid begränsad konstruktionshöjd på platsen (Vägverket, 1996).

Betonghuvudbalkarna kan vara slakarmerade eller spännarmerade. Båda typerna används vanligen utan vot men optimala spännvidder skiljer sig åt. De slakarmerade balkarna är aktuella vid en spännvidd på 15-35 m, medan de spännarmerade kan bära spännvidder på 25-40 m. I det gemensamma intervallet kring 30 m är det oftast konstruktionshöjden som blir avgörande för valet. Konstruktionshöjden för spännarmerade betongbalkar skiftar normalt mellan 4-5% av spännvidden. Slakarmerade balkar kräver en något högre konstruktionshöjd,

³ Mario Plos (Docent och avdelningschef för avdelningen konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 24 januari 2014

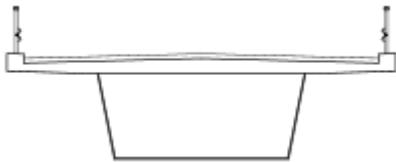
normalt mellan 7-9% av spännvidden. I Figur 6 redovisas en principskiss över en balkbro med två bärande huvudbalkar.



Figur 6 Figuren visar en principskiss på ett tvärsnitt för balkbro.⁴

Ett lådtvärsnitt på huvudbalkarna med spännarmerad betong är en konstruktion som bidrar till att öka den utförbara spännvidden till 40-65 m menar Gunnar Jernström⁵.

Konstruktionshöjden för lådtvärsnitt förhåller sig på samma sätt som för de rektangulära betongbalkarna. Däremot måste den invändiga fria höjden i lådan (se Figur 7) vara minst 1,5 m vid spännvidder upp till 50 m. Vid längre spännvidder ökas kravet på fri höjd till 1,9 m.



Figur 7 Lådtvärsnitt för balkbroar (Vägverket, 2008).

5.1.2 Samverkansbro

En samverkansbro fungerar på samma sätt som en balkbro. Skillnaden är att huvudbalkarna är tillverkade i stål där bultar svetsas fast i överflänsarna som sedan samverkar med den överliggande betongbanan (Vägverket, 1996). Bultarna kallas även för studs. I en samverkansbro utnyttjas stålets höga hållfasthet i drag samtidigt som betongens höga hållfasthet i tryck utnyttjas i den tryckta betongbanan.

Enligt Jernström⁶ tillverkas brotypen i spännvidder på 20-70 m för huvudstålbalkar med I-tvärsnitt medan balkar med lådtvärsnitt används för spännvidder upp mot 130 m, vanligen dock 50-80 m. Konstruktionshöjd för bro med balkar i I-tvärsnitt bör vara mellan 4-7% av spännvidden, medan den för broar med balkar i lådtvärsnitt behöver vara mellan 3,5-4,5 % av spännvidden. Genom att ersätta betong med stål erhålls också en lägre totalvikt för en samverkansbro än för en vanlig betongbalkbro.

Vid eventuell ändskärm mot bank vid broavslutningen bör spännvidden ej överstiga 40-60 m beroende på det aktuella temperaturspannet på platsen (Vägverket, 1996). En samverkansbro är också mer känslig för påkörningslast än en vanlig betongbalkbro varvid krav på fri höjd över exempelvis allmän väg ökas till 5,1 m.

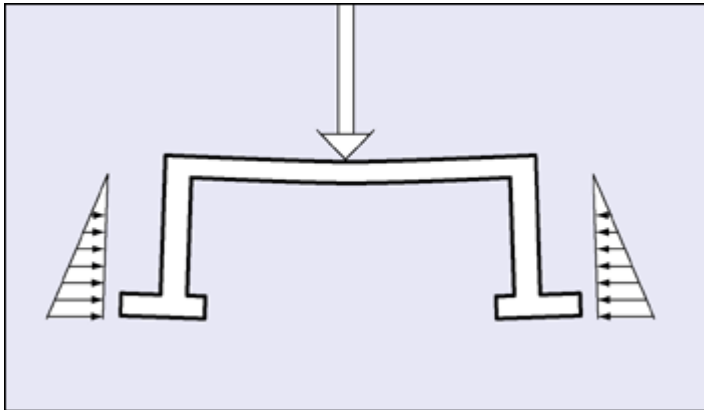
⁴ Gunnar Jernström (f.d. brokonstruktionsansvarig, Ramböll) presentation 31 januari 2014

⁵ Gunnar Jernström (f.d. brokonstruktionsansvarig, Ramböll) presentation 31 januari 2014

⁶ Gunnar Jernström (f.d. brokonstruktionsansvarig, Ramböll) presentation 31 januari 2014

5.1.3 Rambro

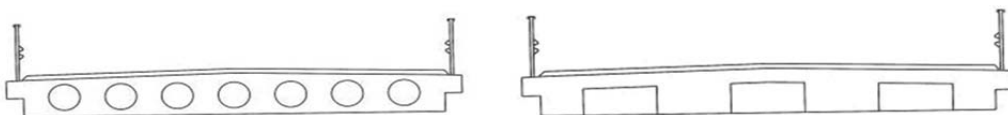
Rambroar är den vanligaste brotypen i Sverige. De utförs oftast i ett spann och tillverkas av armerad betong (Vägverket, 1996). Det finns i huvudsak två olika typer av rambroar; plattrambroar och balkrambroar, där plattrambroar är den vanligaste av dessa två. Rambroar kännetecknas generellt av att brobaneplattan och ändstöden, även kallat rambenen, är fast inspända i varandra. Jordtrycket mot rambenen hjälper till att stabilisera bron från horisontella krafter som kan uppkomma av vägtrafik, se Figur 8. Vid sämre markförhållande och kortare spann (10-12 m) kan det vara lämpligt att gjuta en hel bottenplatta istället för två separata.



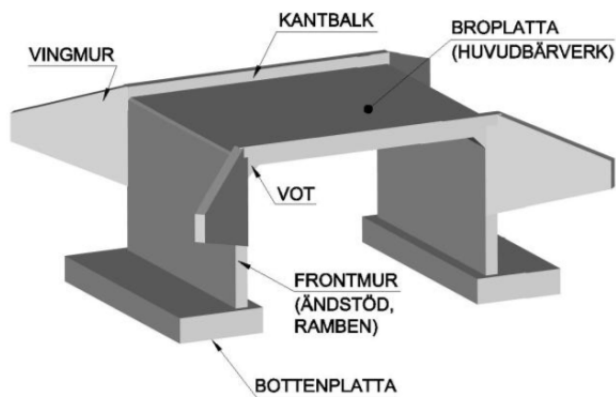
Figur 8 Brobaneplatta som är fast inspänd i rambenen med två separata bottenplattor (Vägverket, 2008).

5.1.4 Plattrambro

Plattrambroars överbyggnad består av en armerad betongplatta, se Figur 10. En slakarmerad betongplatta är ekonomiskt för spann upptill 20-25 m (Vägverket, 1996). Med spännarmerad betong kan spännvidden ökas till ca 35 m. Broplattan är oftast jämntjock och homogen över hela spannet. Vid fler eller större spann kan brobanan utföras med ribbalkar eller hålursparad platta för att minska egentyngden, se Figur 9. Tjockleken på plattan varierar mellan 5-6,7 % av spännvidden upp till 14 m (Jernström, 2014). Vid spännvidder mellan 14-25 m är tjockleken på broplattan 3,5-4% av spännvidden.



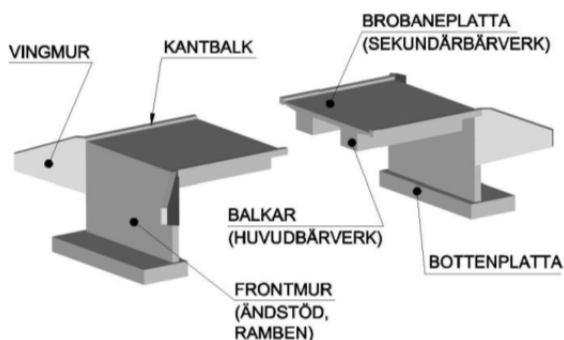
Figur 9 Tvärsnitt som visar två olika typer av homogena plattor; hålursparad platta och ribbalkar (Vägverket, 2008).



Figur 10 Plattrambro sett från sidan utan motfyllnad (Vägverket, 2008).

5.1.5 Balkrambro

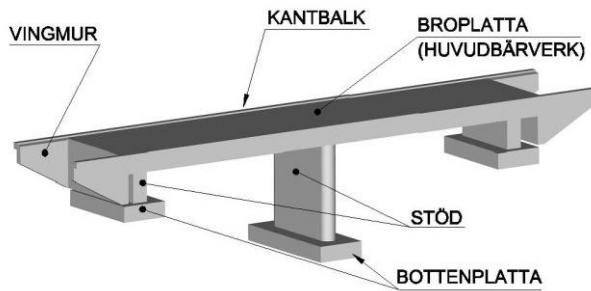
Genom att bygga brobaneplattan på bärande betongbalkar istället för en hel gjuten platta, se Figur 11, kan spännvidden ökas, dock ökas också konstruktionshöjden (Vägverket, 1996). Konstruktionshöjden varierar mellan 3,5-5% av spännvidden. Tidigare byggdes slakarmerade balkrambroar (25-30 m spännvidd) men dessa har idag ersatts av plattrambroar vid kortare spännvidder, och balkbroar vid längre spännvidder p.g.a. höga produktionskostnader. Används spännarmerad betong kan balkrambrons spännvidd öka till 40-50 m.



Figur 11 Balkrambro sett från sidan utan motfyllnad (Vägverket, 2008).

5.1.6 Plattbro

Plattbroar består precis som plattrambroar av en betongplatta, skillnaden är att plattbron är fritt upplagd vid ändstöden, se Figur 12 (Vägverket, 1996). En slakarmerad plattbro har en spännvidd upp till 25 m i flera spann. Göras däremot bron i ett spann så begränsas spännvidden till 18 m. Används spännarmerad betong så kan spännvidden öka till 35 m. Att spännarmera en plattbro är mindre effektivt p.g.a. plattbroars låga konstruktionshöjd. För att minska tyngden på broplattan och därmed nedböjningen så kan plattan utföras med hålursparingar eller ribbalkar, se Figur 9. Plattbroar används ofta där det finns krav på låg konstruktionshöjd.



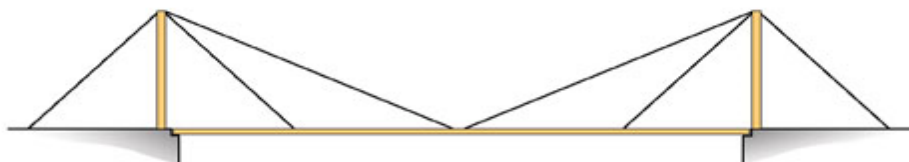
Figur 12 Plattbro sett från sidan utan motfyllnad (Vägverket, 2008).

5.2 Linverkan

Broar upphängda med linverkan består av kablar eller linor, pyloner samt en avstyvningsbalk vilken är den som utgör brobanan (Vägverket, 2008). Kablarna är förankrade mellan pylonerna och brobanan och håller upp brobanan och tar upp dragkrafter. Krafterna förs ned genom pylonerna till grunden som tryckkrafter. Kablarna kan med fördel produceras i stål då det är starkt i drag medan pylonerna som tar stora tryckkrafter kan utföras i betong då betong är starkt i tryck.

5.2.1 Snedkabelbro

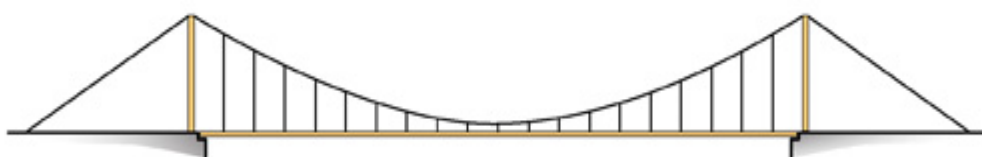
Kablarna i snedkabelbroar är förankrade direkt mellan brobanan och pylonerna (Vägverket, 2008). Kablarna i den här typen av broar kan vara förankrade på tre olika sätt. Om alla kablar är förankrade i toppen på pylonen kallas det för solfjäderform, se Figur 13, det kan dock uppstå problem om man försöker förankra alla kablar i samma punkt och man kan då fördela ut kablarna över en sträcka på pylonen, detta sätt att förankra kablar kallas halv solfjäderform. Det sista sättet att förankra kablarna är det så kallade harpliknande där kablarna är förankrade så att de går parallellt med varandra. Snedkabelbroar är vanliga i spannet 100-500 m.



Figur 13 Solfjäderformad snedkabelbro (Svenskt Trä, 2013).

5.2.2 Hängbro

Hängbroar är uppbyggda så att en huvudkabel är upphängd mellan pylonerna och är förankrade i grunden på var sida om bron, se Figur 14 (Vägverket, 2008). Finns berg kan de förankras direkt i berget annars i betonglandfästen. Brobanan är upphängd i vertikala linor så kallade hängare som förankrar brobanan i den upphängda huvudkabeln. Hängbroar är den brotyp med störst spännvidder och lämpar sig för spännvidder över 500 m.



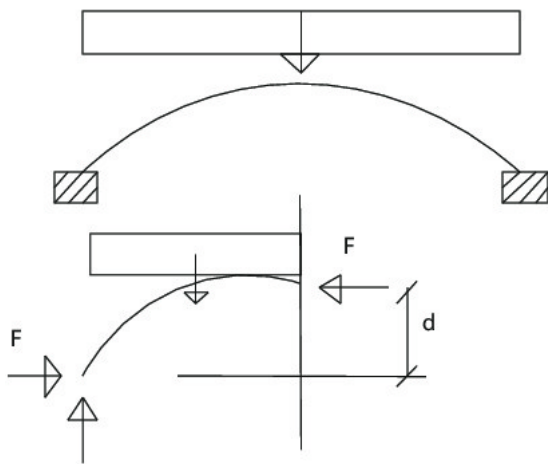
Figur 14 Hängbro (Svenskt trä, 2013).

5.3 Bågverkan

Bågbroar, valvbroar och rörbroar bär krafter genom samma princip. Bågverkansbroar kan vara gjorda i olika material men verkar på samma sätt. Bågen i bron tar upp tryckkrafter och leder ner krafterna i stöden eller i marken, se Figur 15. Enligt Plos⁷ kan brobanan vara dragen om de horisontella krafterna inte tas upp av inspänningen i marken eller om bågen vilar på stöden. Brobanan är neutral om bågen är fast inspänd i marken och tar upp de horisontella krafterna.

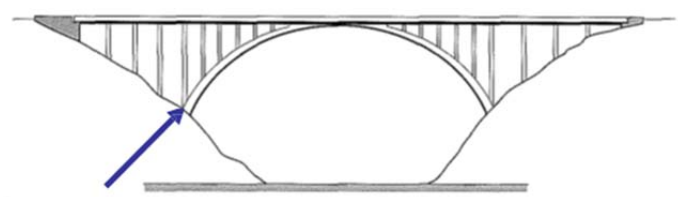
5.3.1 Bågbro

Bågbroen var en vanlig brotyp som det byggdes mycket av förr men har blivit utkonkurrerad av spännbetong- och stål balkbroarna. Bågbroen används för spännvidder över 60 m och ända upp till 300 m (Vägverket, 1996). I få fall används bågbroar av estetiska skäl före broar som är mer ekonomiskt effektiva för att markera något särskilt, som till exempel Svinesundsbron. Bågbroen kan utföras i olika material såsom betong, sten, stål och trä. Det finns tre olika varianter på bågbroar som beskrivs nedan.



Figur 15 Utbredd last som verkar på en båge och hur krafterna tas upp.

Bågbro med underliggande fast inspänning är en typ av bågbro som har en tryckt båge som leder ner de vertikala och horisontella krafterna i marken. För att bygga bågbroar med inspänning krävs goda grundförhållanden, helst berg. På det viset förblir brobanan neutral, se Figur 16.

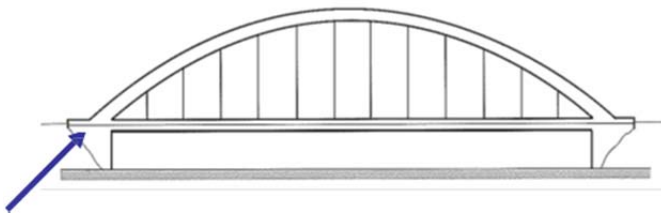


Figur 16 Bågbro med underliggande inspänd båge.⁸

⁷ Mario Plos (Docent och avdelningschef för avdelningen konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 24 januari 2014

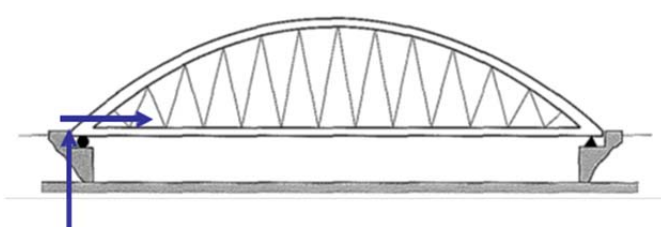
⁸ Björn Engström (Biträdande professor vid avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 28 januari 2014

Bågbro med överliggande inspänd båge verkar på exakt samma sätt underliggande bågar men är i vissa fall ett bättre alternativ med hänsyn till omgivningen, se Figur 17.



Figur 17 Bågbro med överliggande inspänd båge.⁹

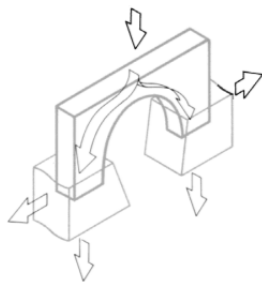
Den tredje bågbrotypen är den vars brobana är dragen. Bågen tar tryckkrafter medan de horisontella krafterna förs ned till stöden vilket leder till att brobanan blir dragen. Bron med bågen är fritt upplagd där de vertikala krafterna tas upp av stöden, se Figur 18.



Figur 18 Bågbro med fritt upplagd båge med dragband¹⁰

5.3.2 Valvbro

Valvbron har precis som bågbroen en tryckt båge som leder ner krafterna i stöden, se Figur 19. Utvecklingen av valvbron ledde till konstruktionen av bågbroen, där samma principer verkar på bron men överflödigt material är borttaget (Vägverket, 1996). Valvbroar byggdes först i sten därefter byggdes de i betong och nu byggs de moderna valvbroarna med korrugerat stål och betong. Enligt Björn Engström¹¹ började broarna byggas i betong eftersom det var ett billigare och lättare material än sten och längre spännvidder kunde uppnås. Betongvalvbroarna var dock ofta klädda i sten för att betongen inte var tillförlitlig enligt allmänheten. Valvbroar byggs idag av estetiska och kulturhistoriska skäl.



Figur 19 Verkningsätt för en valvbro.¹²

⁹ Björn Engström (Biträdande professor vid avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 28 januari 2014

¹⁰ Björn Engström (Biträdande professor vid avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 28 januari 2014

¹¹ Björn Engström (Biträdande professor vid avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola) presentation 28 januari 2014

¹² Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

5.3.3 Rörbro

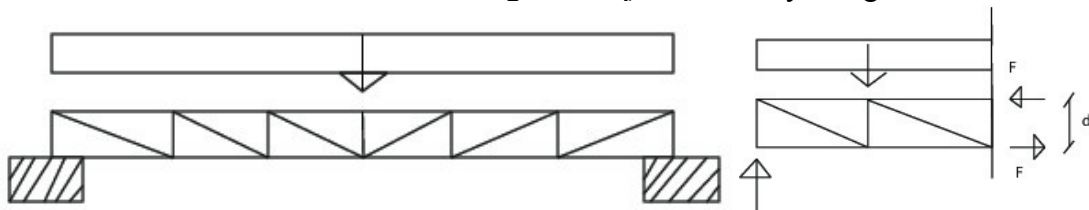
Rörbroar används för spännvidder upp till 7 m och tillverkas av antingen betong eller stål (Vägverket, 1996). Tryckkrafter uppstår längs hela bron och leds ut till sidan och ner till grunden. Den vanligaste typen av rörbro är av korrugerat stål med en maximal tjocklek på 7 mm, se Figur 20. För rörbro med fri öppning upp till 5 m används 3 typer av standardritningar (stående ellips, lågbyggd ellips och gångtunnel). Rörbroar fungerar med hjälp av omkringliggande jord och kräver god grund utan större sättningar. Parallella rörbroar sätts med minst 1 m mellanrum.



Figur 20 Rörbro med stensättning (Vägverket, 1996).

5.4 Fackverksbroar

Fackverk är triangulära ramverk som genom tryckta och dragna delar överför krafter ner till stöden, se Figur 21 (Tata Steel, 2014). Då en fackverksbro utformas med tre eller fyra plan i en sluten konstruktion är även överföringen av skjuvkrafter mycket god.



Figur 21 Utbredd last på ett fackverk till vänster och till höger visas kraftfördelning över fackverket.

Fackverksbroar tillverkas framförallt i stål, se Figur 22, men konstruktioner förekommer också i trä, då i mindre dimensioner. På grund av det omfattande svetsarbetet vid produktion och underhållet av fackverksbroar är de relativt ovanliga idag. Brotypen är fortfarande fördelaktig vid bygget av tillfälliga broar, järnvägsbroar och gångbroar. Spännvidderna för fackverksbroar varierar normalt mellan 40-500 m, där kortare spann kan lyftas på plats i ett stycke vilket underlättar montage över motor- eller järnvägar.



Figur 22 Fackverksbro över väg 70 i Borlänge (Vägverket, 1996).

5.5 Rörliga broar

Rörliga broar är ur ekonomiskt perspektiv ett effektivt sätt att transportera tåg och trafik över trafikerat vatten (Chen, 2000). De rörliga mekanismerna är idag i stort sett uteslutande drivna av antingen elektromekanik eller elektrohydraulik med bensin- eller handdrivna alternativ på starkt trafikerade vatten. Rörliga broar delas upp i klaffbroar, svängbroar, lyftbroar och rullbroar. Gemensamt för de fyra typerna är att den bärande konstruktionen består av I-balkar, lådbalkar eller fackverk i stål. Även till brobanan rekommenderas stålkonstruktioner då betong är tyngre och riskerar sprickbildning.

5.5.1 Klaffbro

Klaffbroar består av ett eller två klaffspann som roterar kring en horisontell axel med hjälp av hydraulcylindrar eller mekaniskt spel (Vägverket, 1996). I många fall underlättas rotationen med motvikter.

5.5.2 Svängbro

I svängbroar sker istället rotationen kring en vertikal axel via ett vridlager. Det vridande maskineriet utgörs av mekaniska spel eller hydraulik (Chen, 2000).

5.5.3 Lyftbro

Lyftbroar består av lyftpelare och ett fritt upplagt lyftspann. Det finns två typer av lyftbroar, en typ med lyftpelare ovan brobanan och en typ med lyftpelare under brobanan (Vägverket, 1996). Då lyftpelarna är placerade ovan brobanan höjs lyftspannet med hjälp av motvikter infästa i en ställinanordning. Då lyftpelarna är placerade under brobanan utgör lyftpelarna själva lyftkraften.

5.5.4 Rullbro

Rullbroar består av ett fritt upplagt spann som i ena änden är upplagt på ett antal hjul vilket möjliggör undanrullningen av bron (Chen, 2000).

6 Produktionsmetoder för olika brotyper

Enligt Svahn¹³ finns det tre punkter som bör eftersträvas vid val av produktionsmetod oberoende av hur det specifika projektet ser ut:

- Trygg arbetsmiljö och en produktionsmetod som kan utföras på ett säkert sätt.
- Förutsägbar tidsåtgång.
- Så låg kostnad som möjligt i alla steg av produktionen.

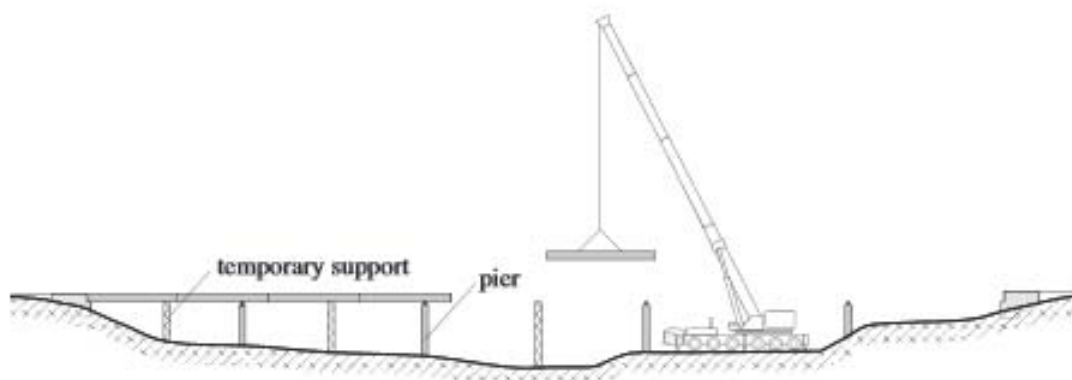
Den sista punkten ska genomföras utan negativ inverkan på kvalitet eller de två övre punkterna. Kostnaden för produktionen kan framförallt påverkas inom arbetskostnader och materialkostnader. Genom ett effektivt och enkelt utförande med högt materialutnyttjande och minimering av temporära konstruktioner blir produktionen kostnadseffektiv.

Valet av produktionsmetod påverkas även i stor utsträckning av det specifika projektet. Förutsättningar runt byggplatsen, vilken typ av bro och i vilket material bron ska byggas styr vilka produktionsmetoder som är möjliga att genomföra. I Kapitel 6.1 beskrivs produktionsmetoder för materialen stål, betong och trä.

6.1 Produktionsmetod för stålbroar

För stålbroar är uppresningsfasen den mest kritiska och risken för kollaps är större då än under bruksfasen (Durkee, 2000). Planering av produktion och uppresning är därför en viktig del för att minska riskerna för kollaps. De geografiska och topografiska förutsättningarna vid platsen för uppförandet samt säkerhet vid uppresning påverkar valet av produktionsmetod (Hirt, 2013).

Svahn¹⁴ hävdar att det för låga broar med relativt korta spännvidder är vanligt att stålbalkarna lyfts på plats med hjälp av kranar, se Figur 23. Metoden minskar behovet av temporära konstruktioner och därmed minskar också kostnaden och byggtiden för projektet. Dessutom minskar riskerna för kollaps vid uppförandet. Metoden kräver god tillgänglighet för arbetsfordon etc. runt bron.

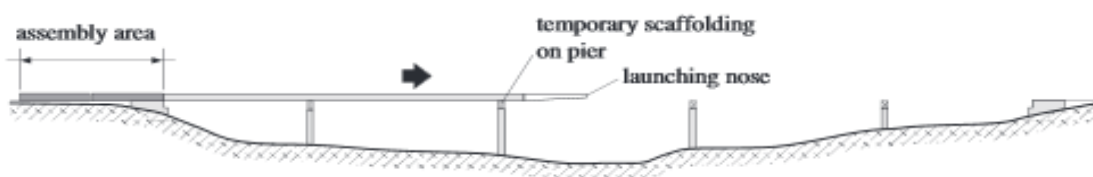


Figur 23 Uppresning av stålbalkbro med få temporära konstruktioner (Hirt, 2013).

¹³ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

¹⁴ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

För högre broar med längre spännvidder eller där kran inte kan användas på grund av topografi krävs produktionsmetoder som klarar de givna förutsättningarna. Svahn¹⁵ hävdar att en vanlig metod vid jämnt fördelade spännvidder, konstant horisontell och vertikal lutning är lansering, se Figur 25. Metoden går ut på att de bärande broelementen skjuts ut från ena eller båda landfästena mot närmaste stöd. Därefter sammanfogas ett nytt element och konstruktionen skjuts ut mot nästa stöd tills hela bro längden är färdigställd, se Figur 24. Vid lansering utsätts konstruktionen för större lastpåkänningar än när den är färdigställd och detta ställer krav på planering och utvärdering av de påfrestande momenten. En lanseringsnos som är lättare än den bärande konstruktionen används för att minska momenten i skedet när konstruktionen skjuts från ett stöd till ett annat (Hirt, 2013). Vidare menar Svahn¹⁶ att elementen fogas samman i en temporär anläggning vid landfästet där sammanfogningen kan ske i en skyddad miljö.



Figur 24 Uppresning av stålkonstruktion med lansering (Hirt, 2013).

6.2 Produktionsmetod för betongbroar

Svahn¹⁷ hävdar att merparten av de broar som byggs idag är tillverkade i betong eller samverkan mellan stål och betong. Materialets goda hållfasthet, enkla formbarhet och effektiva prefabricering gör att betongbroars utformning enkelt kan varieras utefter behov. Med spännarmerad betong kan långa slanka konstruktioner skapas.

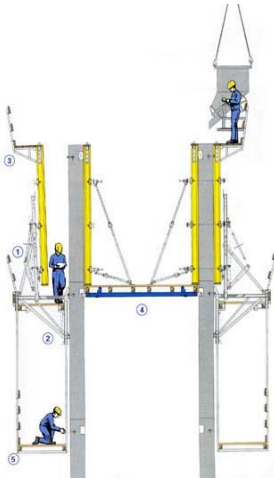
6.2.1 Gjutning av betongpelare

Vid gjutning av vertikala betongkonstruktioner, såsom bropelare, kan klätterformar användas för tillverkning av gjutform, armering samt gjutningen (MPA - the Concrete Centre, 2014). När en specifik del är färdiggjuten lyfts klätterformarna antingen upp till nästa konstruktionsnivå med hjälp av kran, eller klättrar längs den nygjutna delen med hjälp av hydraulik, se Figur 25. Då formen stödjer sig på den nygjutna delen krävs inga andra byggnader eller tillfälliga konstruktioner. Det är en effektiv process utvecklad för att öka produktionshastigheten samt minska onödigt arbete och behov av kranar. Klätterformar ger konstruktioner av hög kvalitet och erbjuder en säker arbetsplats.

¹⁵ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

¹⁶ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

¹⁷ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014



Figur 25 Skiss av användning för klätterform¹⁸

6.2.2 Platsgjutning av betongbroar

Platsgjutning av betongbroar ger konstruktören stor flexibilitet gällande form och storlek på konstruktionen (Cremer, 2000). Metoden tillämpas för såväl korta och enkla konstruktioner som för längre och mer komplexa brotyper.

Gjutformen tillverkas i råspont och byggs vanligen på plats. Vid kortare spännvidder används byggnadsställningar av stål för att bära upp gjutformen. Hela spännvidden kan då bäras upp av ställningen och gjutningen sker i en omgång. Även om byggnadsställningarna ofta är standardiserade och kan användas på olika byggnadsplatser blir det dyrt vid längre spännvidder. Istället används ett antal ramkonstruktioner för att leda ner krafterna i marken. Vid längre spännvidder kan mängden betong bli för stor för att kunna gjutas i en omgång. Bron gjuts och efterspänns därför i etapper.

För att platsgjutning ska vara ekonomiskt lönsamt ska följande krav vara uppfyllda (Cremer, 2000):

- Konstruktionen byggs över land
- Konstruktionen är relativt nära marken
- Konstruktionen har relativt kort spännvidd
- Markförhållanden på platsen är goda utan stora sättningar eller hinder

6.2.3 Prefabricerade betongelement

Användandet av prefabricerade betongelement vid brobyggnad är fördelaktigt i miljöer där bärande ställningar inte kan uppföras eller där omgivningen kräver kort byggtid, t.ex. vid byggnation över motor- eller järnväg (Vägverket, 1996). Prefabricerade betongbalkar produceras idag vanligen i spännvidderna 15-35 m och den tillgängliga konstruktionshöjden bör vara minst 5 % av spännvidden inklusive platsgjuten brobaneplatta.

Då produktionen sker i fabrikslokaler under kontrollerade omständigheter säkerställs konstruktioner av god kvalitet med låg risk för defekter jämfört med platsgjutna element (Transportstyrelsen, 2012). Transportmöjligheterna från fabrik måste tas med i bedömningen av lämplig produktionsmetod. Transporten av prefabricerade betongelement påverkas i första

¹⁸ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation 13 februari 2014

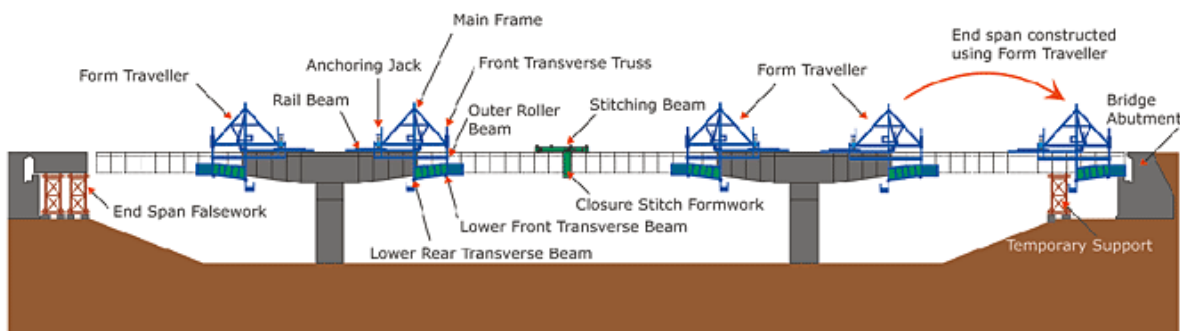
hand inte av spännvidderna utan av vikten då maximal bruttovikt på svenska vägar ligger mellan 40 och 60 ton.

Montage av prefabricerade element sker vanligen med hjälp av kran eller via lansering (Vägverket, 1996). Båda metoderna innebär att konstruktionerna upplever högre belastningar än under det tänkta bruksstadiet vilket måste beaktas vid dimensionering. Vid montage av broar med flera spann kan kontinuitet över stöd uppnås genom hopgjutning av balkar eller en kontinuerlig brobaneplatta. Det senare alternativet innebär att enbart balkarna blir fritt upplagda vilket gör beräkningarna mindre komplicerade.

6.2.4 Fribärande betongbroar

Vid produktion av fribärande broar utgår bygget från en stödjande punkt, antingen ändstöd eller pelare, och byggs på bit för bit (Honorio, 2007). Fribärande broar behöver inga yttre bärande konstruktioner. Produktionsmetoden är därför effektiv i områden med besvärlig eller svåråtkomlig terräng såsom djupa dalar, mark med låg bärighet eller vatten. Optimala spännvidder ligger runt 60-150 m, men betydligt längre sträckor förekommer ofta (VSL, 2014).

Genom att utgå från de permanenta pelarna och med hjälp av två flyttbara formar gjuta brosegment om 3-6 m åt var sitt håll blir konstruktionen balanserad, se Figur 26. Gjutformarmar med varierande tvärsnitt är vanligt då bärverket i många fall är större närmare stöd än i mitten av spannet.



Figur 26 Fribärande brokonstruktion även kallat "fritt fram bygge" utifrån två fristående stöd (VSL, 2014).

Prefabricering av fribärande broar är fördelaktigt eftersom betongelementen (även dessa 3-6 m) kan produceras och lagerhållas samtidigt som stöd och upplagsanordningar gjuts (Chen, 2000). Då tiden för armering och gjutning tas bort ur den kritiska tidsplaneringen kan uppförandet ske 10-15 gånger snabbare jämfört med platsgjutning. Prefabricering är beroende av gjutformar med mycket precis geometri då metoderna för justering på plats är bristfälliga med små och osäkra resultat. Av samma anledning krävs en hög kontroll och kontinuerliga mätningar under uppförandet. Vid långa och oregelbundna spännvidder är dock platsgjutning att föredra framför prefabricering.

6.3 Produktionsmetod för träbroar

Träbroar har länge använts för mindre konstruktioner såsom gång- och cykelbroar. De senaste åren har metoder utvecklats för att förbättra hållfastheten och beständigheten hos träkonstruktioner (Mettem, 2011). Detta har tillsammans med enkel byggprocess och stor arkitektonisk variation lett till att trä blivit en viktigare del i moderna byggen och idag används även i större brokonstruktioner.

6.3.1 Tillverkning av träbroar

Vid produktion av träbroar fraktas mer eller mindre färdiga virkeselement till byggnadsplatsen för montage på plats (Mettem, 2011). Det förekommer fall där större delen av sammanfogningen måste ske på plats men generellt eftersträvas montering i fabrik i så stor utsträckning som möjligt. Fabriker erbjuder kontrollerade och torra omgivningar med snabb tillgång till stabil lyftutrustning. Vid stora och komplexa träkonstruktioner eller när transportsträckan till byggplatsen är lång, kan förseningar i arbetet undvikas om provmontering sker redan i fabriken (Pousette, 2008). För produktion av mindre träbroar sker ofta tillverkning i ett stycke som sedan transporteras och lyfts på plats.

6.3.2 Transport av trämaterial

En förutsättning för att uppnå högsta möjliga prefabriceringsgrad är transportmöjligheterna (Pousette, 2008). Träets relativt lätta egentyngd leder till att transporten av stora sektioner sällan begränsas av tyngd. Istället är det vägförhållandena mellan fabrik och byggplats som ofta avgör hur stora element som kan transporteras. Brodelar med ett spann på 30-40 m och en höjd upp till 4,5 m medför generellt inte några problem för transport (Mettem, 2011). Vid större spännvidder eller dålig vägstandard är transport via båt, tåg eller helikopter ett alternativ.

6.3.3 Montage av träbroar

Träets låga egentyngd är en avgörande faktor även vid montering. Mindre broar lyfts på plats direkt medan större broar antingen monteras bit för bit på fundament eller lyfts i ett stycke efter montage vid sidan om broläget (Pousette, 2008). Beroende på byggplatsens utseende används kranar, ställningar eller traktorer för att få bron på plats. Asfaltering av brobanan sker efter montage. Möjligheten att montera träbroar i ett stycke är fördelaktigt i situationer där tid är en avgörande faktor, till exempel vid brobyggnad över större vägar eller järnvägar. För att lyfta färdigmonterade broar på plats räcker det oftast med avstängning av trafik i några timmar.

7 Underhåll av broar

I dagsläget finns det cirka 15500 broar på de allmänna vägarna och den årliga kostnaden för att underhålla dessa är 700 miljoner kronor (Trafikverket, 2012b). Återkommande underhåll är att bron måste tvättas för att förhindra att salt tränger in och påverkar konstruktioner av stål och betong. En annan åtgärd för att förhindra att salt tränger in är att broarna impregneras vart sjätte till vart tionde år (Trafikverket, 2012a).

7.1 Inspektionstyper

Med jämna mellanrum sker inspektioner av broarna, detta är för att bron ska uppfylla de krav på säkerhet och framkomlighet som ställs av trafikanterna. Inspektionerna är till för att utreda broarnas funktionella och fysiska status samt ligga till grund för vilka åtgärder som krävs för att säkerställa kraven på både lång och kort sikt (Vägverket, 1993). De typer av inspektioner som finns är:

- Fortlöpande inspektion
- Översiktlig inspektion
- Allmän inspektion
- Särskild inspektion
- Huvudinspektion

7.1.1 Fortlöpande inspektion

Sker i samband med inspektion av vägnätet och utförs kontinuerligt under året, av de som har hand om underhållet på vägen d.v.s. underhållsentreprenören (Vägverket, 1993). Syftet är att upptäcka akuta skador som kan påverka brokonstruktionen på kort sikt och skador som kan påverka trafiksäkerheten.

7.1.2 Översiktlig inspektion

Utförs av underhållsentreprenören minst två gånger om året för broar på det nationella vägnätet och minst en gång per år för övriga broar (Vägverket, 1993). Syftet är att säkerställa att de krav som ställs på underhållsentreprenaden är uppfyllda.

7.1.3 Huvudinspektion

Syftet med huvudinspektionen är att upptäcka och bedöma brister som påverkar eller kan påverka konstruktionens funktion eller trafiksäkerhet inom en tioårsperiod (Vägverket, 1993). Brister som upptäcks och inte åtgärdas inom tidsperioden kommer att leda till ökade förvaltningskostnader. Samtliga konstruktionselement och anslutande delar till bron inspekteras, även maskinell och elektrisk utrustning som ingår i rörliga broar. Mätningar av bland annat kloridhalt och karbonatisering i betong, korrosion på armering samt sprickor i stålkonstruktion, utförs för att säkerställa brons säkerhet och funktion. När en bro har blivit byggd så utförs en huvudinspektion inom sex år efter att bron har tagits i bruk. Därefter utförs en huvudinspektion med maximalt sex års tidsintervall.

7.1.4 Allmän inspektion

Sker med max tre års mellanrum med huvudinspektionen inräknat (Vägverket, 1993). Detta gäller för broar med teoretisk spännvidd över 5,0 m i det längsta spannet. För de andra broarna utförs allmän inspektion vid behov. Syftet med inspektionen är att följa upp skador som upptäcktes vid huvudinspektionen som ännu inte åtgärdats. Vidare är syftet också att

upptäcka skador som kan leda till otillfredsställande bärighet eller trafiksäkerhet eller skador som kan leda till ökade kostnader för underhållet som inte hade upptäckts förrän nästa huvudinspektion. Vidare skall kontroll av de krav som ställs på underhållsentreprenören kontrolleras och eventuella avvikelser mätas upp. Alla konstruktionsdelar ska inspekteras förutom de som är i vatten. Övriga delar som vägbankar, slänter, koner, fyllningar, erosionskydd och ledverk skall också inspekteras.

7.1.5 Särskild inspektion

Utförs när det finns ett behov av att inspektera en förmodad eller konstaterad skada närmare med mer tillförlitlig utrustning (Vägverket, 1993). Exempel på detta är impulsradarmätning av brobanepattan som visar i vilket skick brobaneisoleringen är.

Med maximalt tre års mellanrum med huvudinspektionen inräknat utförs inspektion av maskinell och elektrisk utrustning på rörliga broar. För broar med bärande element i stål inspekteras 30 % av svetsarna i flänsplåten. Detta görs med instrumenterade mätningar för att upptäcka inre och yttre fel som kan vara svåra att se med blotta ögat.

7.2 Broskador

När en skada på en bro har upptäckts kategoriseras skadan i olika tillståndsklasser, se Tabell 3. Alla uppgifter sparas sedan i broförvaltningssystemet BaTMan (Bridge and Tunnel Management System) (Trafikverket, 2012a).

Tabell 3 Bedömning av olika tillståndsklasser (Silfwerbrand & Sundquist, 2001).

Tillståndsklass (TK)	Bedömning
3	Bristfällig funktion vid inspektionstillfället
2	Bristfällig funktion inom 3 år
1	Bristfällig funktion inom 10 år
0	Bristfällig funktion bortom 10 år

Nedan följer ett antal olika exempel på skador som kan uppkomma på en bro (Vägverket, 1993).

- **Avflagning** - orsakas av miljöpåverkan samt dåligt utfört underarbete eller felaktigt material. Sker på ställen där färg och epoxiförseglingar finns.
- **Blåsbildning** – uppstår i beläggningen eller ytskiktet på grund av funktionspåverkan-belastning, byggfel eller underhållsfel. Visar sig genom att det sker en utbuktning i beläggningen eller ytskiktet.
- **Böjskjuvspricka** – uppkommer där det finns både ett böjande moment och skjuvkraft. Visar sig genom en spricka i betongen som går från den dragda undersidan snett uppåt.
- **Böjspricka** – uppstår där det finns ett stort moment, antingen i underkant i fält eller i ovankant över stöd. Sprickan går från ovan/underkant in mot mitten.
- **Dragspricka** – uppkommer när dragspänningen överskrider draghållfastheten. Detta kan bero på krympning, krypning, temperatur eller sättningar.

- **Gjutsår** – orsakas av bristfälligt arbete vid betonggjutning.
- **Korrosion** – sker i betongelement när kloridinträngning och/eller karbonatisering går så långt in att det når armeringen. Detta kan bero på för litet täckande betongskikt. Korrosion av konstruktionsdelar av stål sker av miljöpåverkan eller kemiska angrepp. Eftersatt underhåll kan förvärra situationen t.ex. om smuts samlas och binder fukt.
- **Krackelering** – innebär att det bildas ett oregelbundet sprickmönster. Orsak till detta är byggfel eller funktionspåverkan av trafik.
- **Spjälkning** – sker då inre krafter i betongen bryter loss delar av betongen. Krafterna kan uppkomma p.g.a. frostsprängning och trafikbelastning eller vid armeringsskarv i form av förankringsbrott.
- **Spårbildning** – bildas eftersom beläggningen slits ojämnt i tvärled och orsakas av trafiken.
- **Urkalkning** – orsakas av vatten som urlakar cementpastan. Visar sig genom kalkutfällningar på betongytan. Bindningen mellan ballast och cementpastan finns kvar men är försvagad.
- **Vittring** – sker när det inte finns någon sammanhållning mellan ballast och cementpastan. Orsakas oftast av kloridangrepp, frostsprängning, eller nötning från vatten och is.

8 Ekonomi och estetik vid broproduktion

I följande avsnitt kommer ekonomins och estetikens betydelse att belysas för olika broar. I verkliga projekt har ekonomin en betydande inverkan medan den i denna rapport inte kommer att påverka lika mycket. Estetiken värderas utifrån egna bedömningar och är således ett subjektivt kriterium.

8.1 Inverkan av ekonomi

En viktig parameter som tas hänsyn till i brobygget är ekonomin. Svahn¹⁹ menar att det inte bara är materialet för bron som kostar mycket utan även kostnaden för arbetet, underhållskostnader och demontering. Bron ska dimensioneras för en teknisk livslängd på 80 år och då ska nödvändiga inspektioner och underhåll tas med i kalkylen. Den bro som är billigast att producera behöver inte nödvändigtvis vara den som blir billigast under hela den dimensionerade livslängden.

Ekonomin beror till stor del på grundläggningsförutsättningarna. Vid dåliga grundläggningsförhållanden bör de absolut bästa stödplaceringarna eftersträvas och användas (Vägverket, 1996). Detta gäller främst större broar och spännvidden bör i bästa mån anpassas efter stödets placering.

Det finns olika produktionsmetoder för att bygga broar och det skiljer mycket i pris mellan olika metoder. I många fall kan inte den billigaste metoden användas för att omgivningen begränsar till några få produktionsmetoder. Byggtiden är viktig, för vissa projekt mer viktig än andra. Prefabricerade element är dyrare än platsgjutna men sparar mycket tid då det tar lång tid att gjuta betongen. I vissa projekt kan ändå prefabricerade element vara att föredra.

I Tabell 4 visas ungefärliga konstnader för olika typer av konstruktionsmaterial.

Tabell 4 Ungefärliga kostnader för olika konstruktionsmaterial.²⁰

Material	Pris
<i>Betong inklusive form och gjutning</i>	<i>2500 kr/m³</i>
<i>Inlagd, bockad och klar armering</i>	<i>15000 kr/ton</i>
<i>Svetsade stålbalkar inklusive ytbehandling</i>	<i>60000 kr/ton</i>

Kostnader för samhället som inte räknas med i kalkylerna för brobygget är när t.ex. trafiken ska ledas om vid eventuella reparationer eller liknande avstängningar. Detta medför långa köer och tidsförlust vilket leder till en samhällsekonomisk förlust.

8.2 Brons estetiska betydelse

Estetiska parametrar är också viktiga att ta hänsyn till vid konstruerandet av broar. Det är viktigt att bron passar in i det omgivande landskapet och skyddar den omgivande miljön

¹⁹ Per-Ola Svahn, (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation på Chalmers Tekniska Högskola 13 februari 2014

²⁰ Staffan Lindén (Brokonstruktör, COWI) intervjuad av författarna 8 april 2014

(Vägverket, 1996). Bron tillsammans med vägen verkar som en helhet och normalt bör formen på bron överensstämma med vägens, beträffande horisontal- och vertikal linjeföring. I och med brons tekniska livslängd på 80 år har det blivit mer och mer viktigt med estetiskt tilltalande broar, även om detta inte utgör den dimensionerande faktorn för det tänkta bygget.

Alla brotyper kan oftast med hjälp av ekonomiska medel förhöja det estetiska tilltalandet. Genom olika åtgärder framförallt på detaljnivå kan brons estetik ”väljas” utifrån de ekonomiska förutsättningarna för det aktuella projektet (Vägverket, 1996). På så sätt kan många broar på bekostnad av ekonomin anpassas bättre till den omgivande miljön och få ett gott estetiskt tilltalande. Det är dock viktigt att sätta det i perspektiv till brons livslängd där estetiken inte får utgöra en faktor som på något vis kan förkorta den.

9 Utvärdering av brotyper och val av brokoncept

I följande avsnitt utvärderas samtliga brotyper och klassificeras som *lämplig* eller *olämplig* brotyp. Även byggnadsmaterial behandlas huruvida de är lämpliga eller inte att användas i konstruktionen. Klassificeringen utförs utifrån rådande, tidigare i rapporten beskrivna förutsättningar på platsen, samt fakta relaterad till de olika byggnadsmaterialen.

Det är viktigt att komma ihåg att det givna kravet med en brolängd på 46 m inte nödvändigtvis medför att en bro utan mellanliggande stöd får en fri spännvidd på 46 m. Den fria spännvidden kommer i praktiken på grund av bl.a. ändstöd och anslutningar till väg, att bli något kortare. Den något kortare spännvidden är dock inget som beaktas i valet av olämpliga- respektive lämpliga brotyper, utan kravet med en brolängd på 46 m kommer också gälla för den fria spännvidden.

9.1 Olämpliga brotyper och material

Alla tidigare i rapporten beskrivna brotyper är begränsade inom ett intervall på fritt spann inom vilka de är möjliga att verka. De brotyper vars maximala fria spännvidd *underskrider* spännvidden 46 m kommer inte att behandlas vidare. Detta gäller för brotyperna *plattrambro*, *plattbro*, *valvbro*, *rörbro* och *balkbro i trä*. Dessa brotyper hade kunnat konstrueras med mellanliggande stöd vilket hade gjort att de hade varit möjliga att konstruera förutsatt att stödet placerats mitt emellan ändstöden. Ett mellanliggande stöd utesluts då det finns flertalet andra brotyper vars fria spännvidd uppnår 46 m. Ett mellanliggande stöd anses därför onödigt samt att den mest strategiska placeringen av stödet hade varit i den rinnande ån då den befinner sig mitt emellan ändstöden. Att placera ett mellanliggande stöd av betong, i ån Ätran skulle kunna skada bland annat fiskebeståndet i ån. Ett stöd i ån anses heller ej vara estetiskt tilltalande och innebär förstås ökad mängd material och arbete för hela projektet. De dåliga grundläggningsförhållandena bidrar även till valet att inte placera några stöd vid sidan av ån.

Brotyper vars minsta fria spännvidd *överskrider* 46 m anses olämpliga. Att dimensionera en bro av denna typ betraktas som ekonomiskt oförsvarbart, främst med hänsyn till det omfattande kravet på grundläggning. Således är varken *snedkabelbro* eller *hängbro* aktuella som ett alternativt brokoncept.

Bågbro i betong och *bågbro i stål* anses även dem som olämpliga brotyper då deras optimala spännvidder överskrider 46 m. Brotypernas höga krav på grundläggning är också något som gör att de inte är lämpliga att konstruera.

9.2 Lämpliga brotyper

De brotyper som *inte* anses som olämpliga kommer att utredas vidare. Dessa brotyper kommer att var för sig utgöra ett brokoncept som enligt ett visst antal beslutskriterier kommer att jämföras och viktas mot varandra för att redogöra för vilken av dessa brokoncept som är lämpligast att bygga över ån Ätran. De kvarvarande brokoncepten är:

- ✓ Balkrambro i betong
- ✓ Bågbro i trä med fritt upplagd båge
- ✓ Balkbro i spännarmerad betong
- ✓ Balkbro i spännarmerad betong med lådtvärsnitt
- ✓ Samverkansbro med I-tvärsnitt
- ✓ Samverkansbro med lådtvärsnitt

9.3 Beslutskriterier vid val av brokoncept

Kriterier har tagits fram för att belysa ett brokoncepts alla positiva och negativa delar med avseende på bronns hela livslängd. Kriterierna som har tagits fram behandlar samtliga viktiga delar som behöver tas hänsyn till vid uppförandet av en bro. Kriterierna skall komplettera varandra på ett bra sätt men hänger också delvis ihop med varandra. Exempelvis medför en låg grad av genomförbarhet, på grund av dåliga grundläggningsförhållanden, en högre byggkostnad.

9.3.1 Estetik

”Estetik” belyser hur bron framställs utseendemässigt. Då bron ingår som en del av en motorväg kommer den främst att betraktas utifrån bilisternas perspektiv. Dock löper en gångväg under bron vilket gör att bron även betraktas underifrån men inte i samma grad som ovanifrån. Ett estetiskt tilltalande brokoncept värderas högre utifrån en subjektiv bedömning.

9.3.2 Byggkostnad

”Byggkostnad” avser kostnad för produktionen av bron som enligt Svahn²¹ är ett kriterium som i de allra flesta projekt värderas högt. Här kommer det viktas lägre eftersom ekonomiska krav inte är väl definierade. I beslutsmatrisen för de olika brokoncepten kommer kostnaden viktas utifrån uppskattning av produktionskostnad.

9.3.3 Genomförbarhet

”Genomförbarhet” avser omfattningen av broproduktionen. Det innefattar både produktionsmetod och byggtid. Produktionsmetod belyser svårigheter med bronns uppförande med avseende på tillfälliga konstruktioner, grundläggning och arbetsinsats. Inga särskilda krav har ställts på byggtid och därför vägs produktionsmetod tyngre. Produktionsmetod begränsar val av brokoncept till en hög grad och värderas därför också högt i jämförelse med andra kriterier.

9.3.4 Underhåll

”Underhåll” innefattar underhållskostnader, underhållsbehov samt tillgänglighet för underhåll. Underhållskostnader är en stor del av den totala kostnaden under en brons livslängd (Silfwerbrand & Sundquist, 2001). Eftersom ekonomi viktas lågt för byggkostnaden viktas även underhållskostnaden lågt. Underhållsbehovet och tillgängligheten är varierande för olika brokoncept. Eftersom inspektion och underhåll är viktigt att ta hänsyn till kommer underhållskriteriet att viktas högt. Ett brokoncept med lågt underhållsbehov och bra tillgänglighet viktas högt.

9.3.5 Miljöpåverkan

”Miljöpåverkan” tar hänsyn till både global och lokal påverkan. Svahn²² hävdar att materialvalet kommer påverka den globala miljön genom utsläpp som är beroende av tillverkning och transport. Den lokala miljön påverkas av produktionsmetod och materialval. Även upplagsplatser och användning av maskiner påverkar den lokala miljön. Bron skall

²¹ Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation på Chalmers Tekniska Högskola 13 februari 2014

²² Per-Ola Svahn (Teknisk chef, Skanska Sverige AB) presentation på Chalmers Tekniska Högskola 13 februari 2014

byggas enligt gällande krav på miljöpåverkan med avseende på material och produktion och därför viktas kriteriet högt.

9.3.6 Trafiksäkerhet

”Trafiksäkerhet” skall enligt Trafikverkets krav uppfyllas för alla brokoncept. Olycksrisken kan dock skilja sig mellan olika brokoncept men detta är vanligtvis fallet om bron har mittstöd i anslutning till underliggande väg, vilket i detta fall bron saknar. Därför utvärderas alla koncept ha samma säkerhet ur trafiksynpunkt. Kriteriet beaktas därför inte i viktningen.

9.3.7 Körkomfort

”Körkomfort” skall enligt Trafikverkets krav uppfyllas för alla brokoncept. Då bron som skall tas fram är relativt kort utan större vertikal- och horisontalkurvor anses körkomforten inte påverkas av val av brokoncept. Kriteriet beaktas därför inte i viktningen.

9.4 Viktning av kriterier

Alla kriterier viktas då kriterierna väger olika mycket relativt varandra. Kriterierna viktas i en matris där det kriterium som skall ha störst inverkan på val av brokoncept tas fram. Var och ett av kriterierna jämförs med alla de andra och anses det viktigare tilldelas det ett ”+”. Anses det vara mindre viktigt tilldelas ett ”-”. Ett kriterium kan inte ställas mot sig själv och i de fallen tilldelas ”0”. Antalet ”+” för varje kriterium summeras och kriteriet tilldelas en andel av totala summan i procent. I Tabell 5 redovisas resultaten av viktningen.

Tabell 5 Viktningstabell för olika kriterier.

Kriterium		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Ranking	Poäng	Viktning
Estetik		A	0	+	-	+	+	-	-	-	6	4	8,9%
Byggkostnad		B	-	0	-	+	+	-	-	-	7	3	6,7%
Genomförbarhet	Produktionsmetod	C	+	+	0	+	+	+	+	-	3	7	15,6%
	Byggtid	D	-	-	-	0	-	-	-	-	9	1	2,2%
Underhåll	Underhållskostnad	E	-	-	-	+	0	-	-	-	8	2	4,4%
	Underhållsbehov	F	+	+	-	+	+	0	+	-	4	6	13,3%
	Tillgänglighet	G	+	+	-	+	+	-	0	-	5	5	11,1%
Miljöpåverkan	Global	H	+	+	+	+	+	+	+	0	2	8	17,8%
	Lokal	I	+	+	+	+	+	+	+	+	0	1	20,0%
											Σ	45	100%

9.5 Jämförelse av brokoncept

Samtliga brokoncept jämförs med varandra i detta avsnitt utifrån de gällande beslutskriterierna. En kortare framställning som behandlar likheter och skillnader mellan brokoncepten ges under respektive kriterium. Detta står till grund för en matrisjämförelse där ett slutgiltigt koncept utmäts.

9.5.1 Jämförelse estetik

Brokonstruktioner ska inte bara visa prov på konstruktörens skicklighet och kreativitet utan måste samverka med omkringliggande byggnader och natur. Om bron utformas som ett iögonfallande landmärke eller en knappt märkbar vägsträcka beror på omgivning och användningsområde.

9.5.1.1 Utvärdering av brokonceptens estetik

Balkbroar och balkrambroar i spännarmerad betong kan vid längre spännvidder göras estetiskt tilltalande med hjälp av slanka konstruktioner. Då brolängden i det aktuella projektet är relativt kort finns inte samma möjlighet till estetisk utformning. Konstruktionen bör istället utformas för att smälta in i omgivningen. För balkrambroar försvårar de synliga rambenen arbetet med att utforma en diskret bro.

För samverkansbroar innebär inblandningen av ytterligare ett material större möjlighet till variation och färgsättning. Då undersidan av den aktuella bron kommer vara marginellt exponerad kommer möjligheten till variation och färgsättning inte att vara till någon större fördel.

Vad gäller bågbroar är de ovanliga i Sverige, framförallt i materialet trä. En konstruktion av denna storlek har därför stor potential att bli ett landmärke i Ulricehamn. Det finns stora möjligheter att både utforma, färgsätta och belysa konstruktionen efter önskad effekt. Vid för slank utformning kan konstruktioner av denna storlek med hög trafikbelastning upplevas som osäkra.

9.5.2 Jämförelse byggkostnad

Byggkostnaden varierar mellan brotyper och är beroende av materialåtgång, behov av tillfälliga konstruktioner, byggtid samt grundläggningsförhållanden vilka Staffan Lindén²³ hävdar är en väldigt stor del av den totala byggkostnaden. Grundläggningskostnaden av bron är lika för alla kvarvarande brotyper och tas därför inte med i viktningen. Däremot kräver vissa typer av broar grundläggning för tillfälliga konstruktioner så de typerna anses sämre ur ekonomisk synpunkt.

9.5.2.1 Samverkansbro med I-tvärsnitt/lådtvärsnitt

Samverkansbroar har en relativt låg produktionskostnad på grund av att inga tillfälliga stödkonstruktioner krävs. Eftersom både stålbalkar och stållåda kan prefabriceras förkortas också byggtiden vilket leder till minskad total kostnad.

9.5.2.2 Balkrambro i spännarmerad betong

En balkrambro i betong kräver tillfälliga konstruktioner för gjutning. Topografin för området försvårar alla typer av tillfälliga konstruktioner vilket leder till en förlängning av uppresningstiden. De tillfälliga konstruktionerna kräver också en acceptabel grundläggning vilket leder till ökad byggkostnad.

9.5.2.3 Bågbro i trä med fritt upplagd båge

Bågbroar i trä kan till stor del prefabriceras men på plats krävs relativt omfattande montagearbeten (Moelven, 2012). Få tillfälliga konstruktioner behövs vilket sänker den totala byggkostnaden.

9.5.2.4 Balkbro i spännarmerad betong

För gjutning av bärverket och farbanan krävs tillfälliga konstruktioner i form av träformar. Alla tillfälliga konstruktioner ger både ökad byggkostnad och byggtid.

²³ Staffan Lindén (Brokonstruktör, COWI) intervju på COWI:s huvudkontor 4 februari 2014

9.5.3 Jämförelse genomförbarhet

Omfattningen av broproduktionen varierar mellan olika brotyper. Den främsta skillnaden är hur den bärande konstruktionen kommer på plats och behovet av tillfälliga konstruktioner. En god säkerhet är en förutsättning för alla typer av broproduktioner. Genom prefabricerade broelement minskar arbetet på plats och på så sätt reduceras olycksrisken. Av miljöskäl är täta formar en förutsättning vid platsgjutning.

9.5.3.1 Samverkansbro med I-tvärsnitt

Den mest ekonomiska produktionsmetoden för en samverkansbro med den aktuella spännvidden är att lyfta stålbalkarna på plats med hjälp av kranar. En ensam kran klarar dock inte att lyfta en balk över hela spännvidden från en sida utan en lösning är att en annan kran används för att ta emot balken från motsatt sida. För att spara tid hävdar Lindén²⁴ att gjutformar för betongfarbanan kan byggas på stålbalkarna redan innan de lyfts på plats. Betongfarbanan gjuts samman med stålbalkarna med hjälp av studs för att uppnå samverkan.

9.5.3.2 Samverkansbro med lådtvärsnitt

För samverkansbro med lådtvärsnitt lyfts ställådan på plats med hjälp av kranar. En gjutformform av trä för betongfarbanan byggs antingen innan eller efter ställådan lyfts på plats. Betongfarbanan gjuts samman med ställådan med hjälp av studs för att uppnå samverkan.

9.5.3.3 Balkrambro i spännarmerad betong

Då balkrambroars brobanepatta och ändstöd är inspända i varandra gjuts konstruktionen på plats. Platsgjutning är en tidskrävande process med relativt stort behov av tillfälliga konstruktioner. Uppförande av tillfälliga ställningar och gjutformar kräver stöd (t.ex. balkar) över Ätran. De geotekniska förutsättningarna i området med varierande vattennivå försvårar dimensionering av brons ramben.

9.5.3.4 Bågbro i trä med fritt upplagd båge

Bågdelar och balkar med förmonterade gjutformar prefabriceras och lyfts på plats med hjälp av kranar och stöd från tillfälliga ställningar. Användandet av prefabricerade delar med förmonterade gjutformar gör att arbetet kan fortgå utan större avbrott och påskyndar monteringsprocessen. Då trä är ett lätt byggnadsmaterial kan transport av relativt stora element ske. En stor del av erektionsprocessen är infästningen av hängarna mellan bågarna och de tvärgående balkarna. Bågen spänns med dragförband innan brobanan gjuts på plats.

9.5.3.5 Balkbro i spännarmerad betong

Platsgjutning är att föredra då transport och montage av prefabricerade balkar begränsas av tyngden (ca 50 ton på svenska vägar vid normal transport). Platsgjutning är en tidskrävande process med relativt stort behov av tillfälliga konstruktioner. Uppförande av tillfälliga ställningar och gjutformar kräver stöd (t.ex. balkar) över Ätran. När betongen härdat och uppnått tillräcklig hållfasthet efterspänns konstruktionen.

9.5.4 Jämförelse underhåll

Beroende på material och utformning för respektive bro, samt varierande miljö krävs olika mängd och typ av underhåll. Olika brokoncept kräver också olika typer av inspektioner med jämna mellanrum.

²⁴ Staffan Lindén (Brokonstruktör, COWI) intervju på COWI:s huvudkontor 4 februari 2014

9.5.4.1 Samverkansbro med I-tvårsnitt och lådtvårsnitt

Vid inspektion av bron krävs särskild utrustning för att kontrollera svetsarnas tillstånd i flänsen. Detta görs med tre års intervall vid särskild inspektion. Sprickor bör också åtgärdas snarast för att inte bli större. Dessutom bör stålbalken målas om innan den börjar rosta för att ytan skall vara så slät som möjligt för att förhindra att fukt och smuts ansamlas. Skillnaden med en lådbalkbro mot en I-balkbro är att vatten och smuts inte kan samlas på flänsen på I-balken. Dock är insidan av lådan ett problem då temperaturförändringar kan skapa kondens inne i lådan. Detta kan lösas genom att antingen installera en avfuktare inne i lådan eller göra lådan helt tät för att eliminera inträngande syre utifrån (Silfwerbrand & Sundquist, 2001). Ett tredje alternativ är att rostskyddsmåla även insidan men detta är inte ekonomiskt eller arbetsmiljömässigt bra p.g.a. att lådan är liten och trång.

9.5.4.2 Balkrambro i spännarmerad betong

Vid inspektion av en balkrambro så är det en fördel att det inte finns något ledverk eller rullager som skulle kunna vara defekt. Om lagren är defekta krävs en stor arbetsinsats för att laga eller byta dessa. Eftersom bron är spännarmerad så tillkommer inspektion av kabelförankringarna, vilka är svåra att inspektera p.g.a. deras placering (Silfwerbrand & Sundquist, 2001). Enligt Vägverkets broinspektionshandbok bör det riktas extra uppmärksamhet mot fuktgenomslag på brobanep Plattans undersida där det inte finns några sprickor, eller gasutsläpp när det gäller spännarmerad betong (Vägverket, 1993). Betong kräver inget särskilt underhåll så länge inte sprickorna förändras eller att någon övrig skada uppstår, se Kapitel 7.2.

9.5.4.3 Bågbro i trä med fritt upplagd båge

Vid inspektion av en bågbro i trä krävs särskild utrustning för att komma åt och inspektera eftersom bågen är ovanliggande. Detta kan till exempel göras med hjälp av en skylift. Bågen är dessutom mer utsatt för klimatet då den inte skyddas av en ovanliggande brobana. Infästningarna mellan bågen och stålstag är en kritisk punkt där inspektion är extra viktig. För att kontrollera om stålstagen är jämnt spända används en hammare som slås med lätta slag för att jämföra klangen (Vägverket, 1993). Detta är viktigt för att bron inte skall bli snedbelastad. Träet behöver kontrolleras mot röta och även om träet ser friskt ut på ytan så kan träet vara fuktskadat på insidan. Ytbehandling av bågen sker med jämna mellanrum vilket kommer störa trafiken på bron då minst ett körfält måste stängas av.

9.5.4.4 Balkbro i spännarmerad betong

Vid inspektion av en balkbro så är det i stort sett samma som vid inspektion av en balkrambro. Dock har balkbron ledverk vid ändstöden som måste inspekteras. Eftersom bron är spännarmerad så tillkommer inspektion av kabelförankringarna, vilka är svåra att inspektera p.g.a. deras placering (Silfwerbrand & Sundquist, 2001).

9.5.4.5 Balkbro i spännarmerad betong med lådtvårsnitt

Vid inspektion av en lådbalkbro kommer inspektören behöva klättra in i lådan för att kontrollera sprickor inne i lådan. Eventuellt kan en robotkamera användas för att utföra detta. Eftersom bron är spännarmerad så tillkommer inspektion av kabelförankringarna, vilka är svåra att inspektera p.g.a. deras placering (Silfwerbrand & Sundquist, 2001).

9.5.5 Jämförelse miljöpåverkan

Vid produktion av balkrambron, balkbro och lådbalkbro i betong kommer stödkonstruktioner att placeras i ån, vilket kan påverka ån negativt. Dessutom kommer upplag med maskiner och kemikalier utgöra en risk för vattendraget, se Kapitel 2.6. I ett globalt perspektiv bidrar

betongtillverkning till ökade koldioxidutsläpp, främst då bränslet vid bränning av kalk är fossila bränslen. Dessutom innehåller betongen armering av stål som även den vid tillverkning bidrar till ökade koldioxidutsläpp.


För en bågbro i trä med fritt upplagd båge behöver träkonstruktionen målas eller impregneras vilket medför risk för spill. Spillet innehåller miljöfarliga ämnen och kan leda till lokala miljöskador i ån. Det går åt en liten mängd energi för att tillverka träprodukter och när det är förbrukat kan oftast mer energi utvinnas än det som gick åt vid tillverkningen. Träprodukter binder även koldioxid under konstruktionens livslängd vilket är positivt ur miljösynpunkt.

Stålkonstruktionen i samverkansbron kommer att behöva målas för att förhindra korrosion. När detta utförs föreligger en risk för att miljöfarliga ämnen spills ut i Ätran och påverkar den lokala miljön. I ett globalt perspektiv så påverkar både betong- och ståltillverkningen till koldioxidutsläpp.

9.6 Värdesättning av brokoncept

I Tabell 6 redovisas jämförelsen av brokoncepten genom att tilldela varje koncept en siffra mellan 1-5 för respektive beslutskriterium. En högre siffra anger ett högre värde avseende det aktuella kriteriet. Siffran multipliceras med kriteriets viktning, och adderas till en slutsumma. Det konceptet med högst slutsumma anses vara det bäst lämpade brokonceptet för en vägbro över ån Ätran.

Tabell 6 Viktningsmatris för olika brokoncept.

Kriterium		Viktning	Balkrambro i betong	Bågbro i trä	Balkbro i spännarmerad betong	Balkbro i betong med lådtvårsnitt	Samverkansbro med I-tvårsnitt	Samverkansbro med lådtvårsnitt
Estetik		9%	2	5	2	3	2	3
Byggekostnad		7%	2	3	3	3	5	3
Genomförbarhet	Produktionsmetod	16%	2	3	2	2	4	4
	Byggtid	2%	3	4	3	3	4	4
Underhåll	Underhållskostnad	4%	5	3	4	4	4	3
	Underhållsbehov	13%	5	3	3	5	3	4
	Tillgänglighet	11%	4	2	4	3	4	2
Miljöpåverkan	Global	18%	2	4	2	2	3	3
	Lokal	20%	2	3	2	2	3	3
Summa		100%	2,78	3,27	2,53	2,78	 3,38	3,20

10 Slutgiltigt brokoncept

En samverkansbro mellan stål och betong med I-tvårsnitt visade sig i viktningmatrisen vara det bäst lämpade konceptet att genomföra över ån Ätran, som en del av nya väg 40. Konceptet visade sig vara det allra starkaste av de sex återstående koncepten med avseende på tidigare beskrivna beslutskriterier och viktningar. Konceptet visade inte på några särskilda svagheter förutom på kriteriet ”Estetik” som dock, i och med sin låga viktning, inte visade sig utgöra någon avgörande betydelse för resultatet.

I följande avsnitt kommer konceptets utformning, produktions- och underhållsplan samt en beräknad totalkostnad att beskrivas. Även mindre detaljer såsom räcken och lager kommer att redogöras för.

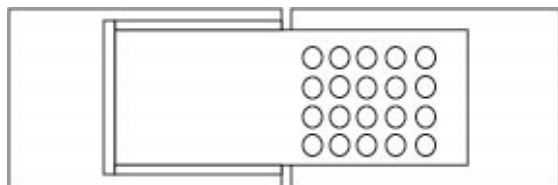
10.1 Utformning av slutgiltigt brokoncept

Bron kommer att konstrueras som två närmast identiska broar bredvid varandra med ett spelrum mellan broarna på 2 m. Detta medför i och med kravet på 3 körfält i varje körriktning, att brobredden för var och en av broarna kommer att uppgå till 13,5 m, se Bilaga 1. En fördel med att konstruera två separata broar istället för en, är enligt Lindén²⁵ att trafiklasterna vid omledning av trafiken *inte* blir lika ojämnt fördelade som de hade blivit vid en solid konstruktion med en brobredd på ca 26-27 m. En solid bro hade medfört ytterligare krav på dimensionering för denna slags lastfördelningar. En annan fördel med två separata brobanor är att de blir mer lättillgängliga för inspektion och underhåll.

Varje brobana kommer att anslutas till *två* underliggande längsgående I-balkar av stål. Varje längsgående balk kommer att delvis svetsas och bultas utifrån kortare balkelement och bilda varsin längsgående balk som löper över hela bronns spännvidd. Konstruktionen kommer att förses med tvärbalkar mellan I-balkarna då den inte anses tillräckligt vridstyv.

10.1.1 Längsgående balkar

De längsgående balkarna som löper mellan det västra och det östra fästet är två I-balkar. Balkarnas uppgift är att föra ner broaster till stöden. I-balkarna är svetsade i fabrik i fem olika delar, där tre av delarna mäter 20 m medan två delar mäter 13 m. Olika längd på balkarna är nödvändigt för att placera skarvningen av dem där momentet är som lägst (Al-Emrani et al., 2011). Balkarna är uppdelade för att möjliggöra transport till byggplatsen. I fabrik kommer även ena delen av ett svetsförband att svetsas medan den andra delen består av ett skruvförband där den skruvas direkt på byggplatsen, se Figur 27. Eftersom momentet kommer vara störst i mitten av bron så sätts skarvarna 13 meter in från båda sidor.



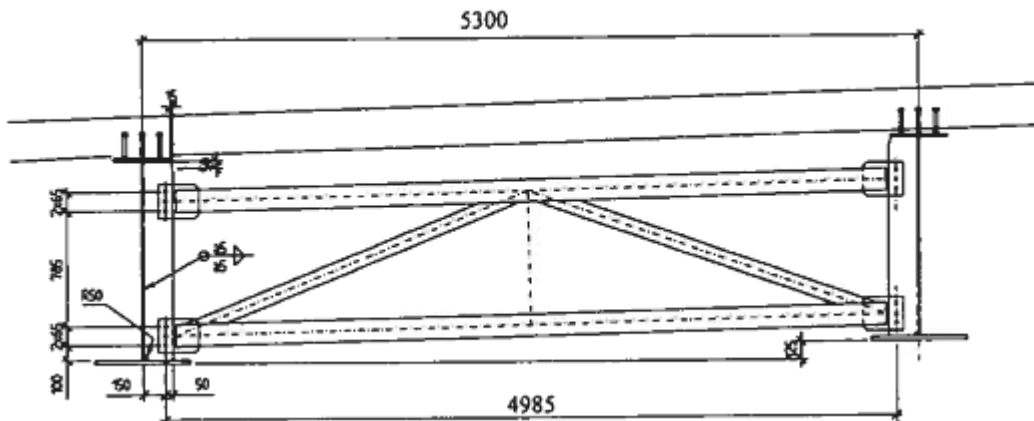
Figur 27 Skruvförband där den vänstra delen är svetsad och den högra delen är skruvad.

Ovanpå balkarna gjuts ett betonglager som samverkar med den överliggande flänsen. För att betongen ska samverka tillverkas bultar (studs) redan i fabrik som sticker ut från flänsen och gjuts ihop med betongen.

²⁵ Staffan Lindén (Brokonstruktör, COWI) intervju på COWI:s huvudkontor 28 februari 2014

10.1.2 Tvärgående balkar

Tvärgående balkar behövs för en mängd olika anledningar. Att säkerställa stabilitet under lyftning eller lansering av bron, sidostabilitet vid upplag, ta upp vridmoment som kan uppkomma om bron är placerad i en horisontalkurva, ta upp horisontella laster från vind samt användas som lyftpunkt ifall lagern behövs bytas, är exempel på anledningar till behovet av tvärbalkar. Enligt svensk standard skall tvärbalkar placeras med maximalt 8 m mellanrum. Utformningen av tvärbalkar kan variera, se exempel i Figur 28. Oftast görs tvärbalkar vid stöden kraftigare för att stabilisera och för att möjliggöra byte av lageranordningar (Collin, Johansson, Sundquist, 2008).



Figur 28 Exempel på hur en tvärbalk kan utformas.

10.1.3 Brobanan

Brobanan tar upp trafiklaster i vertikal- och horisontalled och leder dessa vidare till längsgående balkar respektive ändstöd. Plattans ungefärliga dimensioner uppskattas till 40*13.5*0,4 m.

Armeringsstänger kommer att placeras både i bronns längd- och tvärriktning. Den tvärgående armeringen placeras i överkant vid balkarna och underkant för resterande del av tvärsnittet. Den längsgående armeringen placeras i ovankant av brobanan. Armeringen påverkar inte brobanans kontakt med I-balken.

Gjutformen är specialutformad för bron. Dess design, tillverkning, montering och stöd anpassas för att ta upp aktuella laster under gjutning. Gjutformen utformas i råspont för att få en jämn yta utan luftbubblor. Eftersom brobanan ska vara i kontakt med I-balken fästes gjutformen i balkens undre fläns.

10.1.4 Utformning av landfästen

Brons laster förs ner till marken via ändstöd på fristående landfästen. Ändstöden består av ett rörligt lager på ena sidan och ett fast lager på andra sidan. Frontmuren ovanför lagerpallen går upp till brobanaplattans nivå med hjälp av ett grusskift. Grusskiftet ansluts till brobanaplattan med en övergångskonstruktion (Vägverket, 2009). Avståndet mellan överbyggnadens ändtvärbalk och grusskift är 0,5 m. Brons två separata brobanor vilar båda på samma landfästen.

10.1.4.1 Vingmurar

Slanter i anslutning till bron får ha en lutning som uppgår till 1:1,7, enligt Bilaga 1. Därför görs vingmurar med en vinkel på 45 grader mot vägriktningen för att ta upp denna

höjdskillnad. Vingmurens underkant ska läggas på ett sådant djup under släntytan att utpressning av jord under vingmuren förhindras.

10.1.4.2 Grundläggning

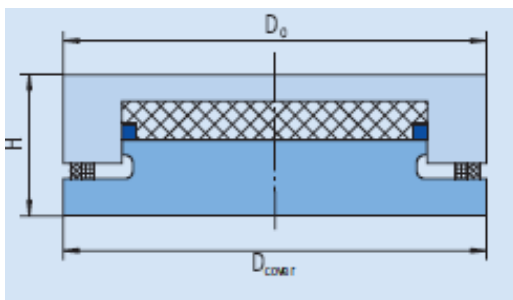
Landfästet vilar på en bottenplatta som är grundlagd på spets- och mantelbärande betongpålar där den största delen av bärförmågan kommer från friktion mellan pålens mantel och omkringliggande friktionsjord, enligt Bilaga 1.

10.1.5 Detaljutformning

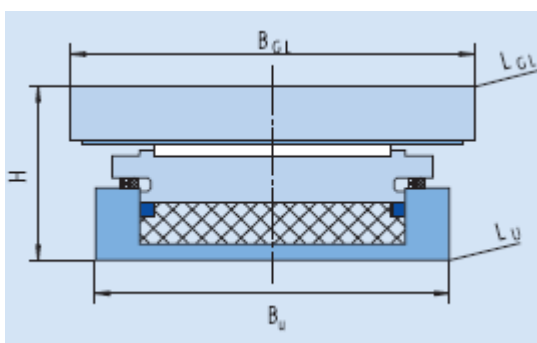
Alla broar behöver att antal detaljer för att fungera, exempelvis för att säkerställa säkerheten på bron. Detaljer som behövs är lager, kantbalk, broräcke, tätskikt, beläggning och avrinningsanordningar.

10.1.5.1 Lager

Den typ av lager som kommer användas är ett så kallat Topflager (pot bearing), enligt Bilaga 1. Den vertikala last som maximalt verkar på lagret är 4,5 MN, se Kapitel 2.1 i Bilaga 2. De typer av lager som kommer att användas är både fasta och allsidigt rörliga, se Figur 29 och Figur 30. De fasta kommer att vara på brons västra landfäste och de rörliga kommer att vara på brons östra landfäste. De två fasta lagren blir enligt Tabell 7, TF-5 och de två rörliga blir enligt Tabell 8, TGa-5.



Figur 29 Visar vilka dimensioner på de fasta lagren som krävs för att ta upp vertikala krafter(V) (Maurer Söhne, 2014).



Figur 30 Generally mobile pot bearing TGa d.v.s. de allsidigt rörliga lagren som används vid brons östra landfäste (Maurer Söhne, 2014).

Tabell 7 Visar vilka dimensioner på de fasta lagren som krävs för att ta upp vertikala krafter (V) (Maurer Söhne, 2014).

Permissible concrete pressure – 26 N/mm ²					
type of bearing	load V kN	H mm	D _{cover} mm	D ₀ mm	weight kg
TF- 1	1000	70	270	270	36
TF- 2	2000	80	360	360	62
TF- 3	3000	90	430	430	93
TF- 4	4000	94	490	490	119
TF- 5	5000	101	550	550	155
TF- 6	6000	106	600	600	192
TF- 7	7000	112	650	650	235
TF- 8	8000	116	690	690	269
TF- 9	9000	124	730	730	322
TF- 10	10000	131	770	770	380

Tabell 8 Visar vilka dimensioner på de rörliga lagren (TGa) som krävs för att ta upp vertikala krafter V (Maurer Söhne, 2014).

Permissible concrete pressure – 26 N/mm ²										
type of bearing	load V kN	H mm	B _u L _u mm	B _G L mm	ex – ±50mm		ex – ±100mm		ex – ±150mm	
					L _{GL} mm	weight kg	L _{GL} mm	weight kg	L _{GL} mm	weight kg
TGa - 1	1000	100	270	320	440	85	555	96	670	106
TGa - 2	2000	107	360	410	530	130	645	143	760	156
TGa - 3	3000	113	420	470	590	168	705	186	820	204
TGa - 4	4000	120	480	530	650	212	765	238	880	264
TGa - 5	5000	129	530	580	700	264	815	296	930	328
TGa - 6	6000	133	570	620	740	308	855	344	970	380
TGa - 7	7000	138	610	660	780	358	895	399	1010	439
TGa - 8	8000	144	650	700	820	414	935	462	1050	509
TGa - 9	9000	151	680	740	850	476	965	525	1080	574
TGa - 10	10000	156	710	770	880	532	995	586	1110	639

10.1.5.2 Räckben

Hela den nya sträckningen av väg 40 kommer att utföras med vägräcke bestående av rörräcke, detta gäller även de broar som ingår. Broräcket kommer att bestå av två stycken rörprofiler som navföljare och en toppföljare av rörprofil. Vägräcket kommer endast bestå av två stycken rörprofiler. Anslutningen mellan broräcke och vägräcke kommer att förses med kapacitetsutjämnade övergång, vilket i praktiken innebär att vägräcket förtätas innan broräcket. Detta görs för att ge övergången mellan broräcke och vägräcke en mindre skillnad i styvhet vid påkörning.

Räckesståndarna har en fotplatta med fyra hål, som ställs på brickor och muttrar som har skruvats ner en bit på gängstängerna, se Figur 31. Därefter skruvas räckesståndaren fast med muttrar som har försetts med grafitfett eller vax för att förhindra att muttrarna skär när de dras. Stefan Olander²⁶ hävdar att muttrarna, brickorna och gängstängerna som används för att sätta fast räckesståndarna utförs enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436 vilket motsvarar syrafast rostfritt stål klass A4. Bultgrupperna kommer inte att undergjutats. Bro- och vägräcke kommer att utföras med samma typ av navföljare och tillverkas av samma företag. Dessutom kommer räckena tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj, enligt Bilaga 1.

²⁶ Stefan Olander (f.d. vägräckesmontör, Bopec Väst AB) intervju 25 mars 2014



Figur 31 Bild på hur kantbalk, bultgrupper, räckesståndare samt rörprofiler sitter ihop (9 Birsta 3P [åtkomst 2014-03-27]).

10.1.5.3 Avrinning

Då bron befinner sig i både en vertikalkurva och en horisontalkurva kommer vatten att rinna mot den norra kantbalken samt mot det västra stödet. Brunnar kommer att placeras längs med den norra kantbalken samt vid övergångskonstruktionen i den västra änden av bron och leder ner i ett rör under bron. Vattnet kommer sedan ledas vidare mot kommunens dagvattensystem.

10.1.5.4 Kantbalk

Bredden på kantbalken kommer att vara 500 mm. Ovankant kantbalk kommer att vara högre än vägbanan på båda sidor av bron. Underkanten kommer att rundas av, se Bilaga 1. Bultgrupper av rostfritt stål kommer att gjutas in i kantbalken, för att räckesståndarna skall ha något att fästas i. Bultgruppen består av fyra stycken syrafasta rostfria M26 gängstänger. Bultgrupperna gjuts med ett centrumavstånd på 1800 mm eller 2000 mm beroende på vilken typ av broräcke som används, vanligast är 1800 mm. Enligt Olander²⁷ är det viktigt att bultgrupperna inte kommer i kontakt med armeringen då detta kan leda till att broräcket börjar rosta.

10.1.5.5 Beläggning

Bron utförs med ett slitlager på 40 mm bestående av en asfaltsmassa. Som tillfälligt slitlager kommer 25 mm TSK (tunnskiktsbeläggning kombination) användas. Ett kombinerat skydds- och bindlager kommer utföras i PGJA och kommer vara 50 mm, enligt Bilaga 1.

10.2 Produktionsplan

Produktionsplanen för brokonceptet är framtagen för att på ett så effektivt sätt som möjligt färdigställa bron utifrån områdets tekniska förutsättningar. Då två identiska broar ska produceras bredvid varandra kan dubbelarbete och kritiska tidsportar undvikas genom en väl

²⁷ Stefan Olander (f.d. vägräckesmontör, Bopec Väst AB) intervju 25 mars 2014

planerad arbetsprocess. Produktionsplanen beaktar även arbets säkerheten och miljöaspekter som följer av att bygga ovan vattendrag.

10.2.1 Grundläggning av bron

Innan produktionen av bron kan starta utreds grundläggningsförutsättningarna i marken kring uppföringsplatsen. Enligt Bilaga 1 är grundläggningsförutsättningarna på båda sidor av Ätran sådana att grundläggning sker på främst mantelbärande betongpålar.

Produktionen inleds med förberedande markarbeten på båda sidor av Ätran. Schaktning utförs till den nivå bottenplattorna till ändstöden ska ligga och därefter inleds pålning av de bärande betongpålarna. Pålningen inleds med propålning av minst tre pålar per stöd, enligt Bilaga 1. Gjutning av bottenplattorna i betong sker sedan i torrhet inom tillfällig spont.

På bottenplattan gjuts ändstöden upp till lagerpallens nivå då längsgående balkar ska lanseras utifrån denna nivå. När balkarna är på plats gjuts ändstöden upp till brobaneplattans nivå. Därefter gjuts vingmurar på båda sidor och slänterna fylls upp.

10.2.2 Lansering av bron

Produktionen av de två brobanorna kommer ske parallellt. Då de första balkarna lanserats påbörjas produktion av gjutform samtidigt som den andra brobanans balkar lanseras. När båda brobanornas balkar och gjutformar är på plats kommer gjutningen av broplattorna ske efter varandra, detta för att undvika dubbla beställningar och arbetsmoment.

Varje I-balk anländer till byggplatsen i tre delar. De tre delarna sammanfogas vid sidan av broplatsen vilket kräver en fri arbetsyta på minst 46 meter bakom ändstödet.

Sammanfogningen sker med skruvförband. Vid sammanfogningen ligger balken upplagd med ena änden på ändstödet och resterande del av balken på ett antal tillfälliga glidstöd för att underlätta lansering. Då de två balkarna till varje brobana är färdigmonterade och upplagda på stöd påbörjas montering av träknektar för att stödja gjutformen och ett tillfälligt trägolv mellan balkarna för byggnation av gjutform. Både knektar och trägolv bärs upp av balkarnas underflänsar.

Lansering av brobanorna sker genom en pådrivande grävmaskin. En bit ut över ändstödet tar en kran emot konstruktionen för att förhindra knäckning eller tippning av balkarna. Exempel på lämplig kran är mobilkranen Grove GMK 5220 vars lyftkapacitet vid radien 30 meter är 17 ton. Tvärbalkar svetsas fast mellan de längsgående balkarna för att underlätta lansering och infästning av kran. Under lanseringen ska glidstöden kontrolleras kontinuerligt och balkens undersida smörjas för att underlätta glidning. Då hela balklängden är lanserad passas balkarna in i de borte ändstöden med spännband och tillfälliga träformar. Slutligen fästs balkarna i lagren.

Gjutformarna platsbyggs längs de upplagda balkarna. För kantbalkarnas yttersidor får endast bräder som tidigare använts som formmaterial användas. Kantbalkens insida formsätts med valfri form som kläs med formsättningsduk, enligt Bilaga 1. Armering placeras ut längs gjutformen innan gjutning sker med hjälp av pumpbil.

10.2.3 Övrigt efterarbete

På den gjutna brobaneplattan läggs en beläggning bestående av 50 mm kombinerat skydds- och bindlager (PGJA), 25 mm tillfälligt slitlager (TSK) och 40 mm permanent slitlager, enligt Bilaga 1. Räckan sätts upp på kantbalken och dräneringssystem sätts upp. För att kunna köra mellan bron och anslutande väg behöver en övergångskonstruktion uppföras mellan brobanan och grusskiftet.

10.2.4 Risker vid produktionen

Olika typer av risker föreligger under hela produktionsprocessen. Både risk för personskador och risk för skador på den lokala miljön måste utredas för ett säkert bygge.

Under grundläggningsprocessen kan en kollaps av sponten medföra allvarliga personskador och därför är det viktigt att sponten slås ner tillräckligt långt i marken och att stödkonstruktioner för sponten, så som hammarband och tvärstag sätts upp vid behov.

Under lanseringsfasen föreligger risk för stora kollapser som kan medföra både personskador och stora förseningar och kostnader. Det är viktigt att kranar och linor har tillräcklig lyftkapacitet, samt att konstruktionen som lanseras är stabil och säkrad.

Alla typer av tillfälliga konstruktioner bidrar till viss ökad risk för olyckor. En tillfällig konstruktion som används vid det här projektet är gjutformen för brobanaplattan. En kollaps av gjutformen kan både medföra allvarliga personskador och skador på den lokala miljön genom utspill av betong i Ätran. Träknektarna som håller upp gjutformen måste ha tillräcklig bärförmåga för att klara tyngden av betongen. Även glidstöden som används vid lanseringen ska vara stabila och behandlade för att minska friktionen mellan dem och bron.

För att minska risken för personskador under hela produktionsprocessen ska personlig skyddsutrustning användas av alla som arbetar i anslutning till byggnationen av bron. Skyddsnet sätts upp under bron för att förhindra att material faller ner i Ätran.

10.3 Underhållsplan

Underhåll och inspektion av det valda brokonceptet kommer att ske enligt Kapitel 7. Mer specifikt för den här typen av bro är att stålbalkarna behöver målas, sprickor åtgärdas samt att svetsar och bultar behöver kontrolleras. Även vissa typer av skador som är vanliga för samverkansbroar undersöks.

10.3.1 Underhåll av I-balkarna

För att I-balkarna skall få så lång livslängd som möjligt måste balkarna behandlas för att förhindra korrosion. Detta görs enligt vägverkets rostskyddssystem S7.09 (Reuterswärd, 2010). Balkarna blästras för att sedan målas med en zinkrik grundfärg som har till uppgift att aktivt fördröja utbredningen av korrosion i mindre skador i färgskiktet. Därefter målas balkarna med en järnglimmerförstärkt mellanfärg som fungerar som en stark och tät barriär. Sista färglagret som appliceras är en täckfärg av polyuretan för att skydda konstruktionen från klimatet.

Ifall korrosion upptäcks vid inspektion kan det bli aktuellt att reparationsmåla dessa områden (Reuterswärd, 2010). De områden som är mest utsatta är balkarnas underflänsar. Om det upptäcks stora korrosionsskador så kan det bli aktuellt att måla om hela konstruktionsdelen. Då måste all befintlig färg avlägsnas innan ommålningen påbörjas.

Om sprickor i stålbalkarna upptäcks så måste dessa till att börja med stoppas från att utvidgas. Detta görs genom att stoppborra sprickan.

Svetsarna kontrolleras med särskild utrustning för att upptäcka defekter som t.ex. porer, slagg, rotfel, bindfel eller sprickor. Hittas defekter i svetsen så slipas den bort och en ny svets läggs för att ersätta den gamla.

Kontroll av bultarna utförs för att upptäcka avskjuvade eller lösa bultar. Lösa bultar upptäcks genom att kolla om färgen runt bulten har spruckit (Vägverket, 1993).

10.3.2 Underhåll av brobaneplattan

Utöver att brobaneplattan tvättas och impregneras så behövs även andra åtgärder för att bron skall vara säker under hela livslängden. Några av dessa åtgärder är byte av lager, kantbalk, broräcke, tätskikt och beläggning (Vägverket, 1993). Plattan inspekteras för att upptäcka om urlakning eller vittring uppkommit, även så att ingen armering är frilagd. Dragsprickor i betongen vid stålbalkarnas överfläns är en vanligt förekommande skada på samverkansbroar, så dessa områden inspekteras noggrant.

10.4 Totalkostnad

För att få en uppskattning om hur mycket bron kostar har en beräkning gjorts med schablonkostnader för betong, armering och stålbalkarna, se Bilaga 3. Resultatet av denna är att bron uppskattningsvis kostar 11,7 miljoner kronor. Då är inte kostnader för grundläggning, ändstöd, och brodetaljer inräknade. Stålbalkarna står för 85 % av totala kostnaden för hela bron.

11 Preliminär dimensionering

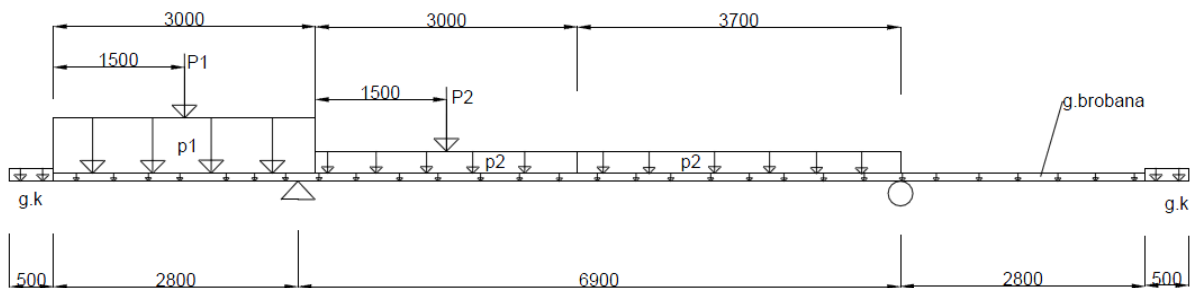
För att kontrollera att brokonceptet håller har beräkningar utförts. Beräkningarna är ett iterativt arbete där dimensioner och materialparametrar ofta ändras för att klara laster som verkar på bron. Beräkningarna utförs enligt Eurocode och kurslitteraturen Bärande Konstruktioner del 1 och 2.

11.1 Dimensionerande moment och tvärkrafter

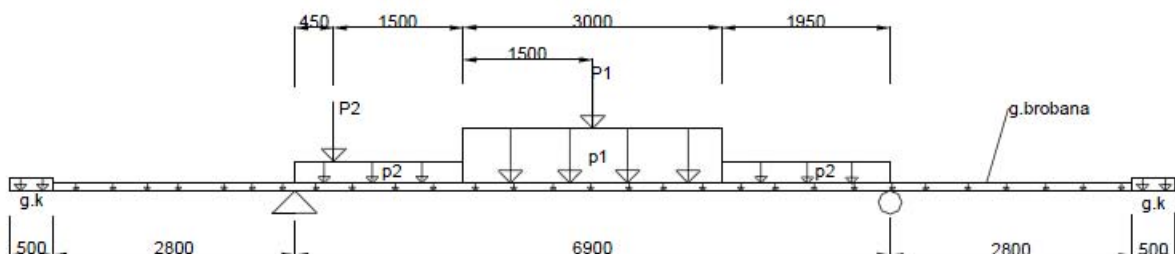
För att få fram vilka moment och tvärkrafter som blir dimensionerande så behövs först en lastframtagning. Därefter behövs olika lastkombinationer för att få fram dimensionerande moment och tvärkrafter i brotts- och bruksgränstillstånd. I tvärled bygger beräkningarna på en meterstrimma av brobanan. På grund av detta reduceras punktlaster för att ta hänsyn till lastspridning.

11.1.1 Lastframtagning

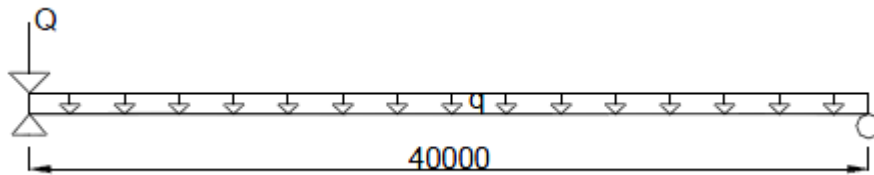
Det som först behöver beaktas i dimensioneringsprocessen är vilka laster som verkar på bron. Detta utgår ifrån SS-EN 1991-2 där lastmodell 1 (LM1) har använts. Två olika lastfall har utretts. Lastfall I där den största punktlasten och utbredda lasten placeras i den vänstra konsoldelen, se Figur 32. Detta lastfall kommer att ge ett stort moment över stöd och stor reaktionskraft i vänstra stödet. I lastfall II har den största punktlasten och utbredda lasten placeras i fältmitten, se Figur 33. Detta för att få ett så stort moment i fältmitt som möjligt. För att dimensionera i längsled har utbredda lasterna och punktlaster i tvärled räknats om med en filfaktor för att få resulterande last på en av stål balkarna i längsled. Maximalt fältmoment fås när punktlasten placeras i fältmitt och maximal tvärkraft fås när punktlasten placeras vid stöd, se Figur 34-35.



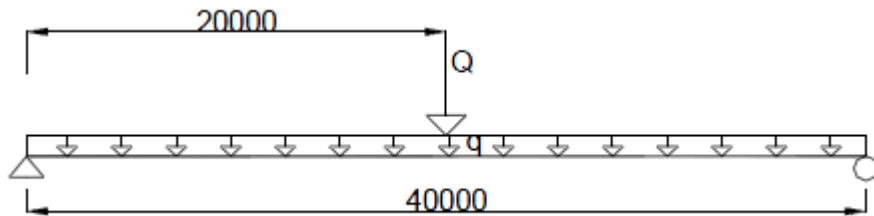
Figur 32 Placering av laster i lastfall I.



Figur 33 Placering av laster i lastfall II.



Figur 34 Lastfall för maximal tvärkraft i längsled.



Figur 35 Lastfall för maximal moment i längsled.

11.1.2 Lastkombinationer

För dimensionering av bron krävs olika lastkombinationer. De olika kombinationer som används är 6.10b, 6.14b, 6.15b och 6.16b. För beräkning i brottgränstillstånd används 6.10b. De övriga är i bruksgränstillstånd där 6.14b används för att kontrollera spänningar i stålbalkarna, 6.15b används för att beräkna nedböjning och 6.16b används för sprickberäkningar. Formlerna är hämtade från SS-EN 1990.

11.1.3 Moment och tvärkrafter

Efter framtagning av lastfallen och lastkombinationer så har beräkningar utförts för att få fram dimensionerade värden på moment och tvärkraft, se Bilaga 2. I längsled har filfaktorer används för att räkna om punktlasterna och de utbredda lasterna till att bara verka på en av stålbalkarna. Vid momentberäkningar har punktlasten placerats i fältmitt och i tvärkraftsberäkningar har den placerats vid stöd, se Figur 34-35.

Resultatet från de beräkningarna redovisas i Tabell 9-12 och ligger till grund för dimensioneringen av bron.

Tabell 9 Dimensionerande moment tvärlängd. Observera att Lastfall I ger det dimensionerande momentet över stöd och lastfall II över fält.

Lastkombination	Lastfall I stöd	Lastfall II fält
Brottgräns 6.10b	555,545 kNm	684,414 kNm
Bruksgräns 6.14b	385,237 kNm	457,303 kNm
Bruksgräns 6.15b	297,294 kNm	333,673 kNm
Bruksgräns 6.16b	68,041 kNm	5,159 kNm

Tabell 10 Dimensionerande tvärkraft tvärled.

Lastkombination	Lastfall I stöd	Lastfall II stöd
Brottgräns 6.10b	209,755 kN	216,297 kN
Bruksgräns 6.14b	147,984 kN	152,643 kN
Bruksgräns 6.15b	115,049 kN	120,049 kN
Bruksgräns 6.16b	42,435 kN	42,435 kN

Tabell 11 Dimensionerande moment längsled.

Lastkombination	Lastfall I fält	Lastfall II fält
Brottgräns 6.10b	45,415 MNm	35,937 MNm
Bruksgräns 6.14b	34,01 MNm	27,691 MNm
Bruksgräns 6.15b	28,056 MNm	24,456 MNm
Bruksgräns 6.16b	18,761 MNm	18,761 MNm

Tabell 12 Dimensionerande tvärkraft längsled.

Lastkombination	Lastfall I stöd	Lastfall II stöd
Brottgräns 6.10b	4,541 MN	3,594 MN
Bruksgräns 6.14b	3,401 MN	2,769 MN
Bruksgräns 6.15b	2,806 MN	2,446 MN
Bruksgräns 6.16b	1,8761 MN	1,876 MN

11.2 Dimensionering tvärled

Vid dimensionering i tvärled har beräkning utförts på en meterstrimma av broplattan d.v.s. som en fritt upplagd balk på två stöd med bredden 1 m och höjden 0,4 m.

11.2.1 Bestämning av betongklass

Valet av betongklass görs utifrån exponeringsklass. De exponeringstyper som är aktuella beror på *Andra klorider än havsvatten* och *frostangrepp*. Exponeringsklasserna väljs utifrån Tabell D.1-1 i TRVR Bro 11.

Tabell 13 Exponeringsklass för kantbalk.

Nedbrytningsmekanism	Andra klorider än havsvatten	Frostangrepp	Dimensionerande värden
Exponeringsklass	XD3	XF4	
Max vct	0.4	0.45	0.4
Minsta täckande betongskick C_{min}	45 mm	-	45 mm
Tillåten sprickbredd $W_{k,till}$	0.1 mm	-	0.1 mm

Tabell 14 Exponeringsklass för trafikerad bottenplatta.

Nedbrytningsmekanism	Andra klorider än havsvatten	Frostangrepp	Dimensionerande värden
Exponeringsklass	XD1	XF2	
Max vct	0.45	0.45	0.45
Minsta täckande betongskick C_{min}	30 mm	-	30 mm
Tillåten sprickbredd $W_{k,till}$	0.2 mm	-	0,2 mm

11.2.2 Preliminär analys av tvärsnittets kapacitet i brottgränstillstånd

Här görs först en preliminär uppskattning av hur många armeringsjärn som krävs i de två kritiska snitten, d.v.s. över stöd och i fältmitt. Även kontroll av minsta och maximala armeringsmängd genomförs. Här bestäms även nominellt tjocklek på täckande betongskikt samt minsta fria avstånd mellan armeringsjärn.

11.2.3 Noggrann analys av tvärsnittets kapacitet i brottgränstillstånd

Därefter görs en noggrann analys av tvärsnittets kapacitet för att kontrollera att tvärsnittet har tillräcklig kapacitet både i fält och över stöd.

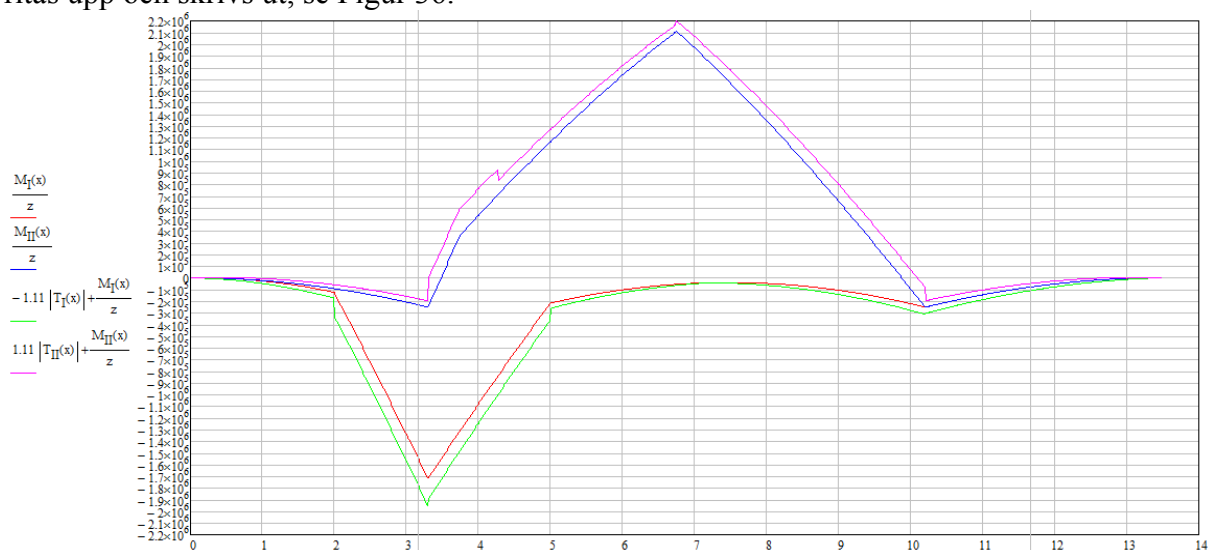
Över fält görs endast en kontroll av momentkapacitet och segt verkningsätt. Över stöd utförs även kontroll av tvärkraftskapacitet med hänsyn till livtryckbrott och skjuvglidbrott. Detta är en iterativ process där antal armeringsjärn och tvärsnittets höjd ändras under beräkningens gång. Ekvation 6.10b används här och dimensionerande värden hämtas ur Tabell 9-12. För hela beräkningsgången, se Kapitel 3.3 i Bilaga 2.

11.2.4 Sprickbildning

Utifrån Tabell 14 fås en maximalt tillåten sprickbredd, som behöver kontrolleras för det valda tvärsnittet i bruksgränstillstånd enligt ekvation 6.16b. Kontroll av balkens sprickmoment genomförs för att kontrollera inom vilka områden balken är uppsprucken. Därefter bestäms både inverkan av krympning och krypning för fält och stöd. Genom iterering bestäms tryckzonens höjd och ett ekvivalent betongtvärsnitt för att få fram de största betong- och stålspänningarna. Vidare beräknas maximalt sprickavstånd och maximal sprickbredd. För hela beräkningen, se Kapitel 3.4 i Bilaga 2.

11.2.5 Avkortning av armering

Beräkningarna sker i brottgränstillstånd 6.10b. Momentdiagrammen för lastfall I och II sammanfogas för att få fram dimensionerande momentdiagram för tvärsnittet. Därefter bestäms det teoretiska dragkraftsbehovet F_{td} . Diagrammet för armeringens dragkraftsbehov ritas upp och skrivs ut, se Figur 36.



Figur 36 Dragkraftsbehov för armeringen.

Vidare beräknas vidhäftningshållfasthet f_{bd} som anger möjlig krafttillväxt per ytenhet på stängen samt S_{bd} som anger maximal krafttillväxt per stång och meter. För att skissa armeringens avkortning beräknas även $l_{bd,max}$ som är erforderlig längd för att förankra stängens flytkraft. Skarvlängd beräknas också i detta avsnitt. För hela beräkningen se Kapitel 3.5 i Bilaga 2.

11.2.6 Nedböjning

Beräkningar av tvärsnittets nedböjning baseras på strukturmekanik där flera mindre element sammanfogas till strukturer. Genom att använda programmet CALFEM i MatLab beräknas förskjutningar och kraftresultanter i varje element utifrån elementens styvhet (beroende på elasticitetsmodul, yttroghetmoment och elementens tvärsnittsarea). För att beräkna tvärsnittets nedböjning i olika punkter skapas noder vid varje lastförändring. Sträckan mellan noderna utgör ett element. Varje nod har tre frihetsgrader som representerar nodernas förskjutning i x- och y-led samt rotation. Maximalt tillåten nedböjning får enligt TRVKbro11 avsnitt B.3.4.2.2 inte överstiga $L/400$ av den teoretiska spännvidden. Hela MatLab beräkningen redovisas i Kapitel 5 i Bilaga 2.

11.3 Dimensionering längsled

Beräkningarna i det här avsnittet bygger på *Steel Concrete Composite bridges* av Peter Collin, Bernt Johansson och Håkan Sundqvist. Hela tvärsnittet består av två stålbalkar, dock bygger beräkningarna i det här avsnittet på en stålbalk. Hela beräkningen redoviasas i Kapitel 4 i Bilaga 2.

11.3.1 Dimensionering av över- och underfläns i brottgränstillstånd

För uppskattning av flänsars area antas tyck-och dragkrafter verka i flänsarnas mitt. Arean kan uppskattas med hjälp ekvation 1.1.

$$A = \frac{M}{\rho * f_{yd}} \quad (1.1)$$

Den övre flänsens area dimensioneras för att klara lanseringen och gjutskedet av brobanan i brottgränstillstånd medan den undre flänsen dimensioneras utifrån största moment över fält i brottgränstillstånd (formel 6.10b).

11.3.2 Medverkande betong

Utifrån SS-EN 1994-2 kapitel 5.4.1.2 beräknas en medverkande betongbredd för tvärsnittet, se Kapitel 4.1 i Bilaga 2.

11.3.3 Kontroll av spänningar i bruksgränstillstånd

För att beräkna samverkanstvårsnitt så görs betongen om till ekvivalent stål med en faktor α . Därefter beräknas yttröghetsmoment för hela tvärsnittet. Utgående från ekvation 6.14b får vi ett moment i bruksgränstillstånd som ger upphov till spänningar i tvärsnittet. Spänningarna kontrolleras mot tillåtna spänningar i bruksgränstillstånd.

11.3.4 Framtagning av antal studs

Framtagning av antal studs beräknas genom att göra om maximala tvärkraften i brottgränstillstånd till skjuvspänning mellan överfläns och betong.

11.3.5 Kontroll av tvärkraft

Kontrollen av tvärkraftskapacitet görs utifrån kapitel S.5 i *Bärande Konstruktioner*. Kontrollen innefattar risk för skjuvbuckling och beräkning av tvärkraftskapacitet. Dessutom kontrolleras om interaktion mellan moment och tvärkraft behöver undersökas.

11.3.6 Nedböjning

För nedböjningsberäkning används uträknat yttröghetsmoment i ekvivalent stål från tidigare beräkningar. Därefter används elementarfäll för en fritt upplagd balk med en utbredd last och en punktlast i mitten.

12 Resultat dimensionering

Resultatet från preliminärdimensioneringen ligger till grund för utformning av förslagsritningar i tvärled och längsled.

12.1 Tvärledsdimensionering

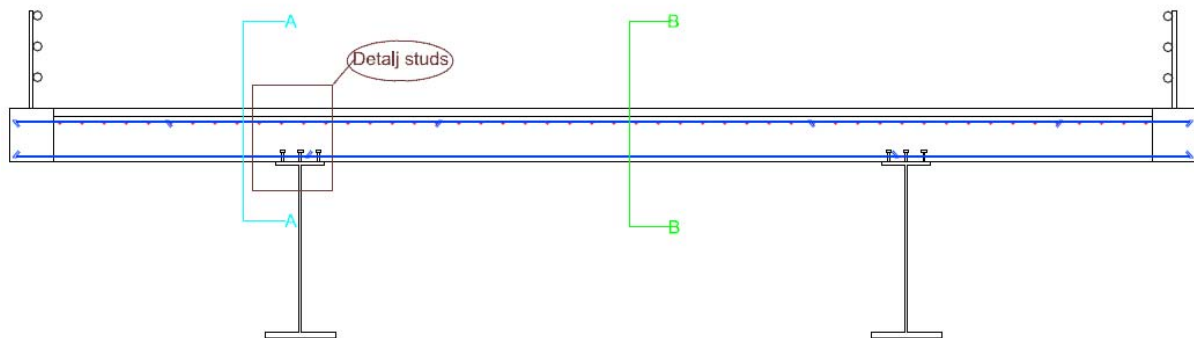
Från lastfall och lastkombinationer har brobanan dimensionerats prelimenärt för att klara av långtids- och korttidseffekter.

12.1.1 Betongklass

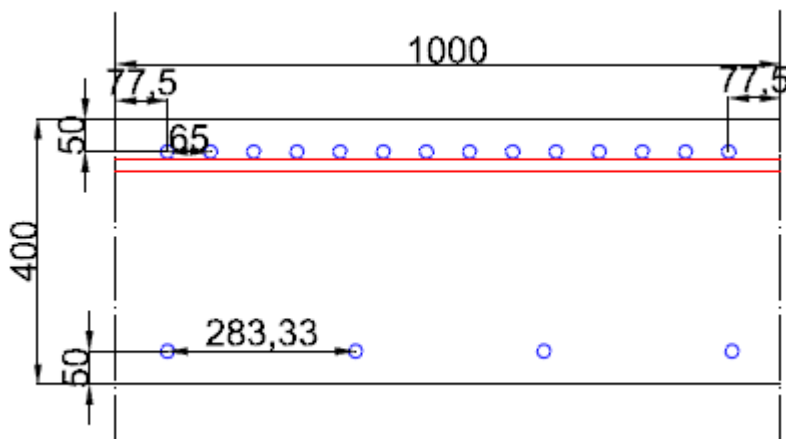
Enligt TRVR Bro 11 kan en kantbalk som gjuts tillsammans med brobanaplattan utformas av betong med $v_{ct,ekv} \leq 0,45$ och med ett minsta täckande betongskikt av C_{nom} 35 mm. För betong ovan marin miljö används exponeringsklasserna XS1 och XF2 vilket ger samma värden som XD1 och XF2 (vilka gäller för Trafikerad bottenplatta). Detta innebär att all betong kan dimensioneras utifrån exponeringsklasser för brobanan, se Tabell 13-14. Betongklass väljs till 45/55 och cementtyp N.

12.1.2 Armering över stöd och fält

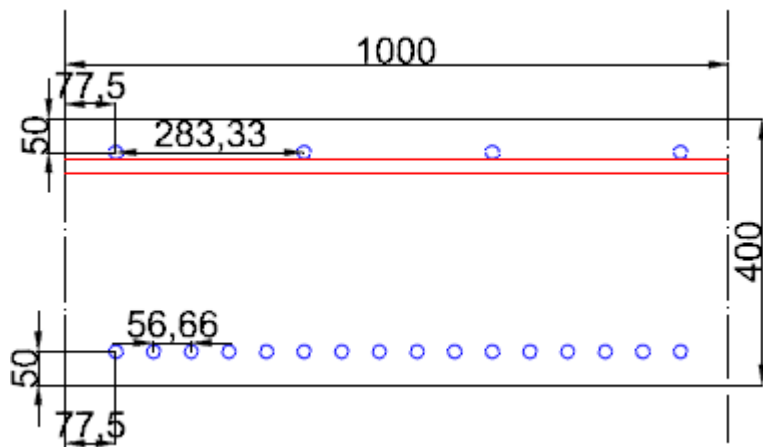
Utifrån preliminär analys av tvärsnittet uppskattas antalet armeringsjärn över stöd och fält. I den noggranna analysen anpassas antalet för att uppnå tillräcklig momentkapacitet och segt verkningsätt. Över stöd placeras 4 stycken $\phi 20$ per meter i underkant och 14 stycken $\phi 20$ per meter i överkant, se Figur 38. Över fält placeras 16 stycken $\phi 20$ per meter i underkant och 4 stycken $\phi 20$ per meter i överkant, se Figur 39.



Figur 37 Tvärsnitt av bron i längsled.



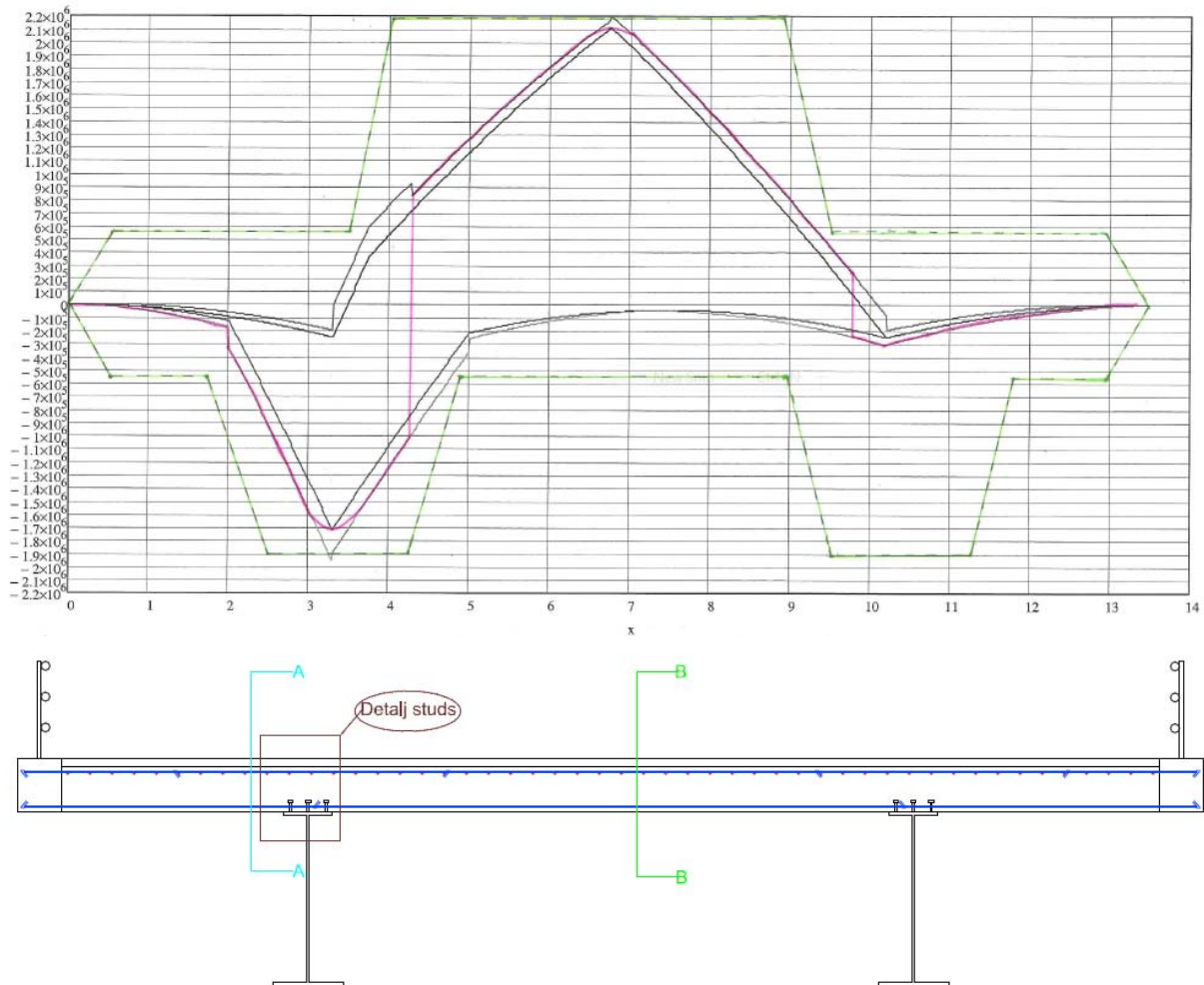
Figur 38 Armering över stöd sektion A-A i Figur 37.



Figur 39 Armering över fält sektion B-B i Figur 37.

12.1.3 Avkortning av armering

Resultatet från avkortningsberäkning är att 4 stycken armeringsjärn går oavkortat hela vägen både i ovan- och underkant. Ovankantsarmering ökas till 14 stänger mellan 1,8–4,9 m och mellan 8,6–11,7 m. Underkantsarmering ökas till 16 stänger mellan 3,5–9,5 m, se Figur 40.



Figur 40 Visar hur avkortningen av armeringen ser ut. Observera att diagrammet är vänt upp och ner så att armeringen i ovankant i diagrammet ligger i underkant i det verkliga tvärsnittet.

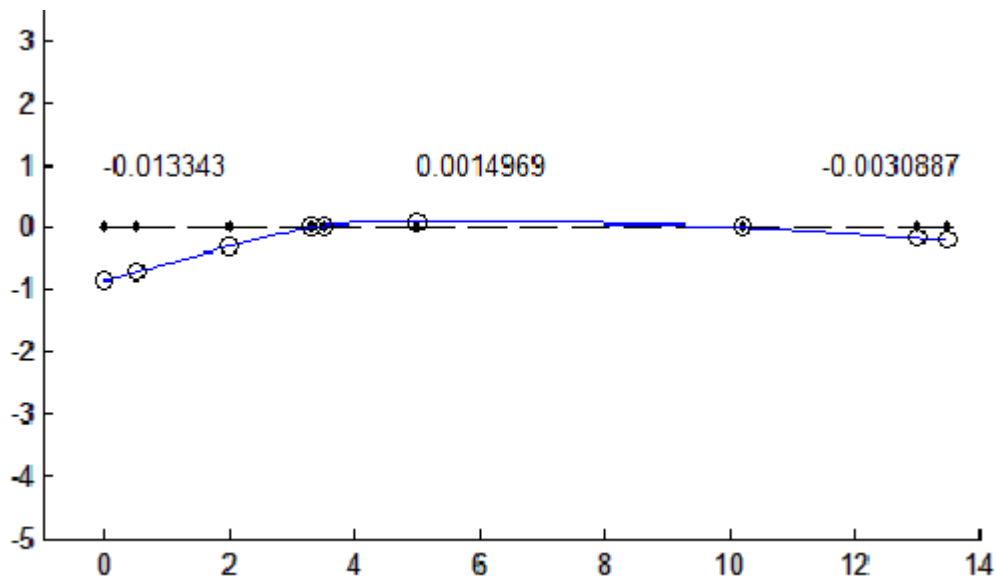
Beräkningarna gav en erforderlig längd för skarvning av armeringsjärnen på 0.805m. Då tvärsnittet endast är 13.5m beställs armeringsjärn i denna längd så skarvning undviks.

12.1.4 Sprickbredd

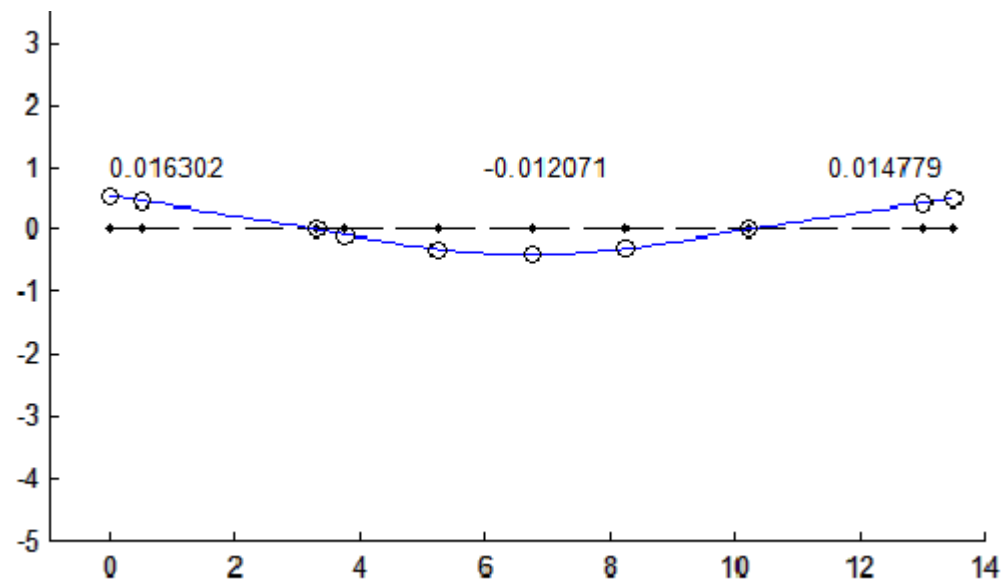
Sprickbredden beräknas till 0,046mm vilket uppfyller kravet på tillåten sprickbredd på 0,2mm.

12.1.5 Nedböjning

Resultatet av beräkningarna redovisas i Figur 41-42. Nedböjningen överstiger inte den tillåtna nedböjningen.



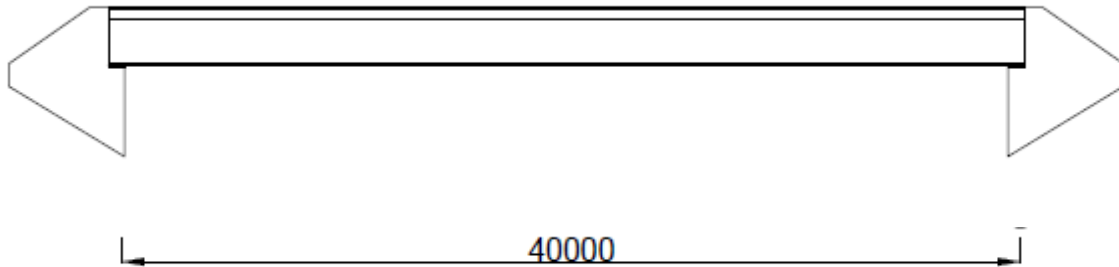
Figur 41 Nedböjning för lastfall I [m].



Figur 42 Nedböjning för lastfall II [m].

12.2 Längsledsdimensionering

Från lastfall och lastkombinationer har samverkanstvärsnittet dimensionerats prelimenärt för att klara av långtids- och korttidseffekter.



Figur 43 Översiktsfigur över bron i längsled.

12.2.1 Över- och underfläns

Flänsarnas erforderliga area räknas fram och ur arean tas bredd och höjd fram. Överflänsens bredd blir 550 mm och höjden 50 mm. För underflänsen blir bredden 800 mm och höjden 60 mm, se Figur 45.

12.2.2 Medverkande betong

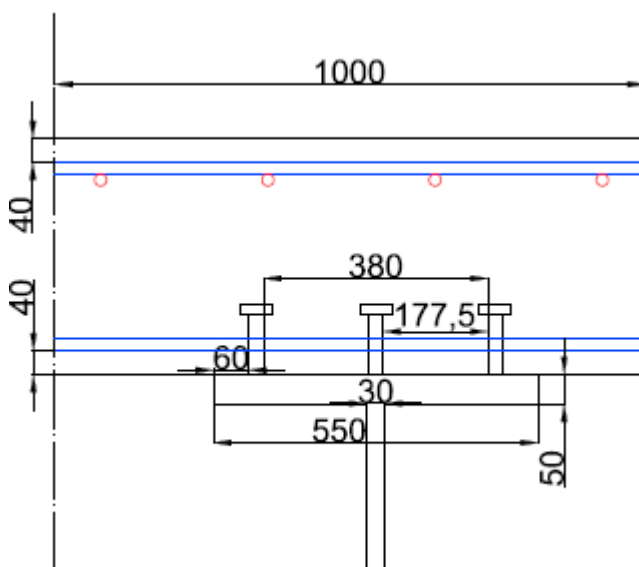
Eftersom bron är lång så blir medverkande betongbredd maximalt av vad som är möjligt dvs. hela avståndet från insida kantbalk till mitten på bron vilket är 6,25 m.

12.2.3 Kontroll av spänningar

Kontollen av spänningar i bruksgräns ligger under maximalt tillåtna spänningar.

12.2.4 Antal studs

För att klara av skjuvspänningen som uppstår vid stöd behövs 18 stycken studs. För att uppnå minsta och maximala krav på centrumavstånd mellan studsarna placeras de radvis med tre studs per rad enligt Figur 44. Detta resulterar i sex studsraderna per meter.



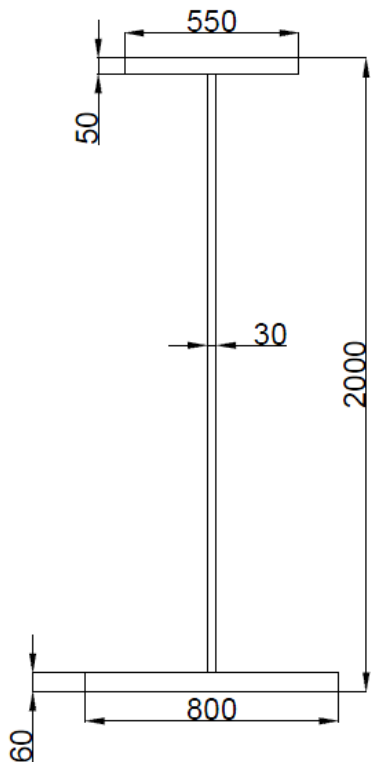
Figur 44 Visar studsarnas placering.

12.2.5 Balklivet

Enligt beräkningar föreligger risk för skjuvbuckling. Dock har livet tillräcklig kapacitet för att ta upp den dimensionerande tvärkraften. Ingen interaktionsberäkning för moment och tvärkraft behövs då tvärkraftskapaciteten är mer än två gånger så stor som dimensionerande tvärkraft.

12.2.6 Nedböjning

Nedböjningen blir 75 mm i fältmitt, vilket ligger under den tillåtna nedböjningen $L/400$, vilket är 100 mm. När nedböjningen är kontrollerad kan ett slutgiltigt tvärsnitt för stålbalken tas fram, se Figur 45.



Figur 45 Slutgiltigt tvärsnitt för stålbalken.

13 Diskussion

Under konceptframtagningen och dimensioneringsprocessen har ett antal antaganden och förenklingar använts. Nedan utvärderas rimligheten på de antaganden och förenklingar som gjorts och hur de påverkar det slutgiltiga resultatet. Därefter beskrivs återstående dimensioneringar och tillförlitligheten på använda källor utvärderas.

13.1 Framtagning av brokoncept

I första urvalet av lämpliga brotyper är den fria spännvidden ett av de viktigaste kriterierna då brotyper vars maximala spännvidder underskrider eller kraftigt överskrider 46 meter väljs bort direkt. Inför den preliminära dimensioneringen väljs den fria spännvidden till 40 meter utifrån ritningar, se Kapitel 1.3. Vid tillgång till mer specifika förutsättningar hade ett exakt värde på spännvidden kunnat bestämmas och resultatet av det första urvalet påverkats. Då spännvidden är en så pass osäker parameter kan det diskuteras om den ska få en avgörande roll i första urvalet av brokoncept. Urvalet får trots detta anses rimligt då de flesta bortvalda brokoncept har spännvidder långt utanför aktuellt intervall.

De beslutskriterier som används för att komma fram till ett slutgiltigt brokoncept i det andra urvalet baseras på hela bronns livslängd, från projekteringsstart till rivning. Hur kriterierna viktas gentemot varandra är bestämt utifrån egna åsikter och förutsättningar för projektet. Rapporten innehåller inte några ekonomiska begränsningar eller riktlinjer vilket leder till att byggkostnaden för projektet värderats väldigt lågt. När liknande projekt genomförs i verkligheten finns tydliga budgetar och de ekonomiska kriterierna har stor inverkan på hur projektet genomförs. Då rapporten inte tar upp ekonomiska förutsättningar är det svårt att avgöra vilket brokoncept som är det mest fördelaktiga ur ekonomisk synpunkt. Genom projekteringen och dimensioneringens gång har val gjorts för att på ett så effektivt sätt som möjligt uppnå ställda krav vilket innebär att det framtagna brokonceptet kan antas ekonomiskt fördelaktigt.

Beslutskriteriet *miljöpåverkan* har viktats högst i rapporten då det finns gällande krav på miljöpåverkan med avseende på material och produktion. Skillnaden mellan de olika brotypernas totala miljöpåverkan över hela livslängden antas vara liten. I viktningen måste även den totala miljöpåverkan ställas mot den totala samhällsnyttan vilket resulterar i att viktningen i verkligheten kan få andra prioriteringar.

Värdesättningen av de olika brokoncepten baseras på rapportens litteraturstudie samt egna resonemang och uppskattningar. Resultatet av värdesättningen blir väldigt jämn och kan förändras genom en omvärdering av ett högt viktat kriterium. En av anledningarna till det jämna resultatet är att de jämförda brokoncepten är relativt lika varandra och flera hade varit möjliga brokoncept.

13.2 Dimensioneringsprocessen

I början av dimensioneringen bestämdes det att konstruktionen skulle byggas som två separata brobanor istället för en. En fördel med två separata brobanor är möjligheten att omfördela trafik vid reparationer och underhåll till endast en av broarna. Om en sammansatt bro konstruerats hade omfördelningen av trafik gått att genomföra på liknande sätt, men det hade ställt större krav på konstruktionen då brobanan i tvärlid blir en kontinuerlig balk med fyra stöd istället för en fritt upplagd balk på två stöd. Konstruktionen skulle behöva vara tillräckligt elastisk för att klara nedböjning då endast en brobana är belastad men tillräckligt styv för att klara fulltrafik last mellan brobanorna. En uppdelning av brobanan till två separata brobanor innebär alltså en enklare konstruktion med mindre materialåtgång. Då det finns krav

på avstånd mellan körriktningarna för motorvägsbroar hade valet av en brobana inte påverkat konstruktionens totala bredd.

13.2.1 Stöd

Redan vid förstudien beslutades att antalet stöd skulle väljas till två och att konstruktionen därmed skulle fungera som en fritt upplagd balk. Markförhållanden i området är dåliga ur brobyggnadssynpunkt med låg relativ fasthet vilket försvårar grundläggningen för ytterligare stöd. Grundläggningen hade försvårats ytterligare av Ätrans geografiska sträckning under den planerade bron. Alternativet hade varit att välja tre stöd där mittenstödet placeras i Ätran eller fyra stöd där de två mittersta stöden placeras på var sin sida av ån. Ytterligare stöd hade förändrat brons beräkningsmodell till en kontinuerlig balk vilket innebär ett statiskt system som förändras över tid och därmed ställt högre krav på dimensionering och tillåtna sättningar. Om istället bara två ändstöd används påverkas konstruktionens hållfasthet relativt lite av ojämna sättningar.

Vid valet av antal stöd har hänsyn även tagits till lokala miljömål. Bron över Ätran kommer ligga i ett sekundärt vattenskyddsområde. Det bedrivs också ett öringsprojekt av Miljö- och samhällsbyggnadskontoret i Ulricehamns kommun. Att bara använda två stöd innebär så liten inverkan som möjligt på området i och runt ån.

Det är svårt att avväga kostnaden för användning av flera stöd gentemot konstanden för den kraftigare brokonstruktion som krävs för två stöd. Med hänsyn till områdets miljökrav och de svåra grundläggningsförhållandena anses valet av två stöd vara ekonomiskt försvarbart både utifrån byggnadskostnad och samhällsmål.

13.3 Beräkningar

Den totala brolängden är från Bilaga 1 given som 46 m. Brobanans spännvidd beror därmed på landfästernas dimensioner. I rapporten dimensioneras inte landfästena vilket innebär att dimensionerna får uppskattas. Då de två separata brobanorna vilar på samma landfäste uppskattas bredden till ca 30 meter. Utifrån detta uppskattas längden på landfästet till 3 m, vilket resulterar i en spännvidd på 40 meter för brobanan. Uppskattningen av landfästernas längd antas vara i underkant. Framtagna värden för moment och tvärkraft kan då antas vara överdimensionerade och brobanan dimensionerad med en extra säkerhet. Utifrån krav på maximal konstruktionshöjd uppskattas preliminära dimensioner på tvärsnittets proportioner. För ett samverkanstvårsnitt sätts stål balkarnas höjd så stor som möjligt för att minska materialåtgång utan att påverka momentkapaciteten.

13.3.1 Horisontella laster och sidolaster

Vid dimensionering av framtaget brokoncept har inte horisontella laster (så som bromslaster) och sidolaster (så som vindlaster) tagits med i beräkningarna. Sidolasterna tas upp av de tvärbalkar som stabiliserar bron i sidled. Då rapporten inte berör beräkningar av tvärbalkarna antas kapaciteten i brons sidled vara tillräcklig för att ta upp tänkbara sidolaster. De horisontella trafiklaster som uppkommer utgörs av broms- och accelerationskrafter. Framtaget brokoncept är en motorvägsbro med av- och påfarter i direkt anslutning och konstruktionen kommer ständigt vara utsatt för accelererande och retarderande fordon. Horisontella trafiklaster blir därför betydelsefulla vid dimensionering. Lasterna tas upp i stöd- och vingmur, men då dessa delar inte dimensioneras i rapporten antas deras kapacitet vara tillräcklig.

Temperaturförändringar som bidrar till töjningar i betongen medverkar också till de horisontella lasterna och även de tas upp i ändstöden.

13.3.2 Val av lastmodell

Rapportens beräkningar är genomförda enligt Lastmodell 1 i SS-EN 1991-2 som består av en koncentrerad och en utbredd last som används för globala och lokala verifieringar. Lastmodell 2,3 och 4 väljs bort då ingen av dem blir dimensionerande. Även typlaster a)-l) väljs bort av samma anledning.

13.3.3 Dimensionering längsled

Beräkningarna enligt LM1 utgår ifrån filfaktorer och lastkoncentration till en av de längsgående balkarna. I den färdiga bron kommer tvärbalkar stabilisera och överföra krafter mellan de längsgående balkarna. De beräknade momenten och tvärkrafterna kan därför antas vara i överkant. Dimensioneringen i längsled har genomförts utifrån dimensionerande tvärsnitt över stöd och i fältmitt. Antalet studs och dimensionerna de längsgående balkarnas underfläns skulle därför kunna varieras över spännvidden för att minska materialåtgången. Genomförda beräkningar för att kontrollera tvärkraft baseras på fritt upplagda balkar. I verkligheten kan tvärkraften reduceras på grund av upplagens bredd. Beräkningarna kan antas vara utförda med en extra säkerhetsfaktor.

13.3.4 Beräkningar av nedböjning i CALFEM

I beräkningarna för balkens nedböjning i tvärled används en förenklad beräkningsmodell. För att använda programmet CALFEM i MatLab antas brobanan vara fritt upplagd över stöd. I verkligheten kan brobanan delvis ses som fast inspänd över stöd vilket reducerar rotationsfrihetsgraden. Reduceringen innebär att brobanans styvhet ökar. Den framräknade nedböjningen kan därför anses vara större än den verkliga. I beräkningen har ingen hänsyn tagits till de tvärbalkar som kommer finnas i den färdiga bron vilka reducerar brobanans nedböjning både i tvärled och längsled.

13.3.5 Optimering och avkortning av armering.

I rapportens modeller avkortas alla armeringsstänger i ett och samma snitt istället för att stegvis minska eller öka antalet armeringsstänger, vilket leder till att spänningsöverföringen koncentreras till färre tvärsnitt. Modellerna tar inte hänsyn till framräknad minimal erforderlig skarvlängd. Genom fler tvärsnittsberäkningar och mer detaljerad avkortning av armeringsstängerna kan stålets och betongens egenskaper utnyttjas mer effektivt och materialåtgången minskas.

13.4 Återstående dimensionering

Den genomförda dimensioneringen är huvudsakligen utförd på överbyggnaden och en hel del beräkningar för den färdiga konstruktionen har utelämnats i den här rapporten. Bland annat har brons horisontalkrökning approximerats till en rak linje. Rapporten avgränsar beräkningarna till dimensionering och inga optimeringsberäkningar genomförs.

I överbyggnaden kvarstår att dimensionera övergångskonstruktion mellan anslutande väg och brobana, källsvetsar, skruvförband och tvärbalkar.

Skruvförbanden som används för att sammanfoga de längsgående balkarna behöver dimensioneras för att klara av moment och tvärkrafter utifrån skjuv- och hålkantsbrott. Eventuellt skulle skruvförbanden kunna ersättas av stumsvetsar. Att svetsa ihop balkarna kräver dock större arbetsinsatser ute på byggplatsen vilket kan påverka både resultatet av svetsningen och produktionsprocessen.

Halssvets mellan flänsplåt och livplåt i längsgående riktning måste dimensioneras för att klara av erforderlig skjuvspänning.

Då horisontella laster inte beräknats i rapporten finns ingen kännedom om inom vilka intervall bron rör sig i längs och tvärled. Det återstår att dimensionera övergångskonstruktionens rörelsekapacitet. Övergångskonstruktionen behöver även dimensioneras med hänsyn till sättningar.

Det återstår även att dimensionera de fem tvärbalkar som kommer stabilisera bron i sidled, samt de båda ändstöden med tillhörande vingmurar.

13.5 Överslagsberäkning för kostnader

Den överslagsberäkning som genomförts för bronns kostnad baseras på schablonkostnader för konstruktionsmaterialen betong, armering och stål. Resultatet av beräkningarna kan därför endast användas som en grov uppskattning av den verkliga kostnaden. Beräkningarna visar att kostnaden för stålbalkarna utgör ca 85 % av materialkostnaden för överbyggnaden. Då stålet utgör en så stor del av kostnaden kan viktningen av byggkostnaden för samverkansbro med I-tvårsnitt behöva ändras.

Det är även viktigt att notera att överslagsberäkningarna inte beaktar kostnader för produktionsmetod och byggtid. Samverkansbro med I-tvårsnitt har viktats högt i båda dessa kriterier och kan därför bli det mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet trots den höga materialkostnaden.

13.6 Källkritik

Beräkningarna har i stor utsträckning utförts enligt Bärande Konstruktioner del 1 och Bärande Konstruktioner del 2 med beräkningsgångar enligt Eurocode. Eurokoderna används idag för standarder och beräkningsregler för dimensionering av bärverk och får antas vara en pålitlig källa. Beräkningarna i längsled har utförts enligt ”Steel Concrete Composite bridges” som funnits tillgängligt via kurshemsidan och får antas vara en pålitlig källa.

För litteraturundersökningen har mestadels dokument från Trafikverket och litteratur inom ämnena material och konstruktioner från Chalmers Bibliotek använts.

14 Slutsats

Rapporten har resulterat i ett väl fungerande brokoncept som anpassats till områdets förutsättningar och beställarens krav. Genom en enkel konstruktion kan dimensionerande krav på trafik och samhällsnytta uppnås utan onödigt stora ekonomiska utgifter.

En samverkansbro med I-tvårsnitt innebär effektiv produktionsmetod med stora möjligheter till prefabricering. Den öppna konstruktionen är inspektionsvänlig vilket underlättar underhåll och reparation. Konstruktionens fria uppläggning på ändstöd innebär också minimal påverkan av området, både utifrån miljösynpunkt och estetik.

Konceptets hållbarhet har fastslagits genom preliminär dimensionering och kontroll av korttids- och långtidseffekter. Rapporten kan ses som grunden för den vidare dimensionering och detaljutformning som krävs innan hela projekteringsfasen kan avslutas.

15 Referenser

- 9 Birsta 3P [Elektronisk bild] <http://www.birsta.eu/Bilder/Broracken/Birsta-3P/Birsta-3P-fyllningbelysning/9-Birsta-3P> [Åtkomst 2014-03-27]
- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2011) *Bärande konstruktioner del 1*. Rapport: 2011:1.
- Banverket (1996) Broprojektering. <http://documents.vsect.chalmers.se/structural-engineering/SorenLindgren/bro/Banverket-broprojektering.pdf> (2014-02-20)
- Bright Hub Engineering (2012) *What are beam bridges?*. <http://www.brighthubengineering.com/structural-engineering/62873-what-are-beam-bridges/> (2014-02-20).
- Burström, P.G. (2007) *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Upplaga 2. Lund: Studentlitteratur AB.
- Chen, W-F., Duan, L. (2000) *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Collin, P, Johansson, B, Sundquist, H. (2008) *Steel concrete composite bridges*, Luleå: Luleå University of Technology
- Cremer, J-M. (2000) Part II General comments on methods of construction. I *Guidance for good bridge design*, ss 117-144. Lausanne: International Federation for Structural Concrete
- Durkee, J. (2000) Steel Bridge Construction. I *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Hirt, M., Lebet, J-P. (2013) *Steel Bridges*. Lausanne: EPFL Press.
- Honorio, J.D., (2007) *Konceptuell utformning av konsulattbyggda betongbroar med långa spann*. Stockholm: Kungliga tekniska högskola. (examensarbete inom Structural Design & Bridges)
- Maurer Söhne (2014), Maurer pot bearings. <http://www.maurer-soehne.de/bauwerkschutzsysteme/bauwerkslager/topflager/> (2014-05-09)
- Mettem, J.C., (2011) *Timber Bridges*. London: TRADA Technology Ltd
- Moeleven Industrier ASA (2012) Limträbroar. *Moelven*. <http://www.moelven.com/se/Produkter-och-tjanster/Limtra/Trabroar-Moelven/?link=mainMenu>. (2014-03-04)
- MPA- the concrete centre (2014) *Jump form*. http://www.concretecentre.com/technical_information/building_solutions/formwork/jump_form.aspx (2014-02-24)
- Panoramio (2012) Partihallsförbindelsen. <http://www.panoramio.com/photo/75191785> (2014-02-28)
- Pousette, A. (2008) *Träbroar – Konstruktion och dimensionering. Handbok*. Stockholm: AB Stjärntryck
- Pålkommisionen (2007) *Pålgrundläggning - Grundinformation för projektörer*. [Elektronisk] Stockholm: Pålkommisionen
- Reuterswärd, P. (2010) *Optimal skötsel av stålbroar* [Elektronisk] Stockholm: Swerea, KIMAB

- Silfwerbrand, J. & Sundquist, H. (2001) *Drift, underhåll och reparationer av konstbyggnader*. Andra upplagan. Stockholm: Royal institute of technology structural engineering.
- SMHI (2013) Klimatdata. <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur> (2014-02-14).
- Skogsindustrierna (2004) *Att välja trä*. [Elektronisk] Stockholm: Skogsindustrierna
- Svensk Betong (2013) *Fakta om betong*. <http://www.svenskbetong.se> (2014-03-01)
- Svenskt Trä (2013) *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se> (2014-02-11).
- Tata Steel (2014) *Truss bridges*. <http://www.tatasteelconstruction.com> (2014-02-28)
- Trafikverket (2010) *TRV 2010-17612OPR40 Dällebo-Hester*
[http://www.trafikverket.se/PageFiles/5767/TRV2010-17612OPR40%20D%
 c3%a5llebo-Hester.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/5767/TRV2010-17612OPR40%20D%c3%a5llebo-Hester.pdf) (2014-02-14)
- Trafikverket (2012a) *Drift och underhåll av broar och tunnlar*. [Youtube]
https://www.youtube.com/watch?v=XmGSLWD65nc&list=UUuqNJEScCHb5T3pdi5HdQlA&index=2&feature=plpp_video. (2014-02-14).
- Trafikverket (2012b) *Så sköter vi underhåll av broar*. Trafikverket.
<http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-vagar1/Underhall-av-broar/>. (2014-02-14).
- Trafikverket (2012c) *Väg 40 Ulricehamn ska byggas ut till motorväg*. Trafikverket.
<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Vastra-Gotaland/Vag-40-mellan-Dallebo-och-Hester/> (2014-02-07)
- Transportstyrelsen (2012) *bruttoviktstabeller*.
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/Vag/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Bruttoviktstabeller/> (2014-02-26)
- Ulricehamns kommun (2007) *Öringprojektet i Ätran*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=2326 (2014-02-20)
- Ulricehamns kommun, (2014a) Karta och Skyddsföreskrifter. *Ulricehamns kommun*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=3883. (2014-02-14).
- Ulricehamns kommun, (2014b) Vad gäller inom Ulricehamnskommuns egna vattenskyddsområden. *Ulricehamns kommun*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=3883. (2014-02-14).
- Ulricehamns kommun, (2014c) Vad gäller för mig som har ett upplag inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområde. *Ulricehamns kommun*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=3883. (2014-02-14).
- Ulricehamns kommun, (2014d) Vad gäller om jag gräver eller schaktar inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden. *Ulricehamns kommun*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=3883. (2014-02-14).
- Ulricehamns kommun, (2014e) Vad gäller för mig som hanterar kemikalier inom Ulricehamns kommuns egna vattenskyddsområden. *Ulricehamns kommun*.
http://www.ulricehamn.se/ulh_templates/Information.aspx?id=3883. (2014-02-14).
- VSL (2014) *Free cantilever method*. <http://en.vsl.cz/free-cantilever-method> (2014-02-26)
- Vägverket (1989) *Geotekniska undersökningar för vägbroar*. [Elektronisk] Borlänge: Vägverkets tryckeri.

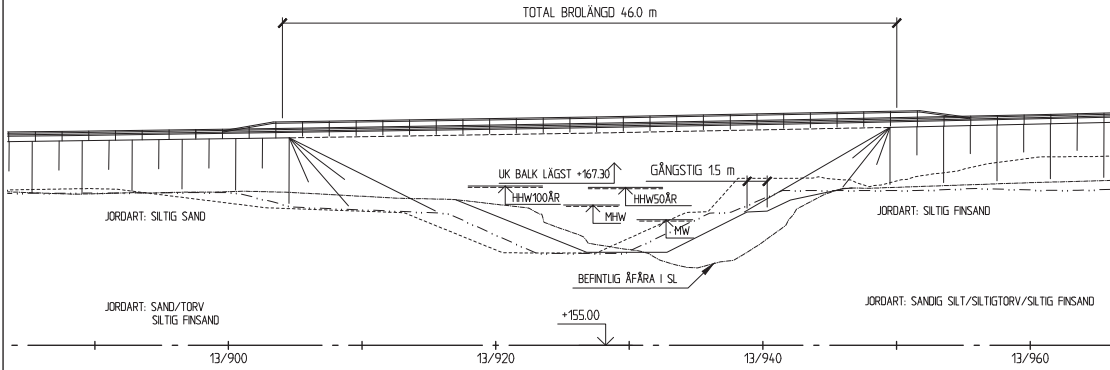
Vägverket. (1993) *Handbok för broinspektioner*. Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Vägverket (1996) *Broprojektering – En handbok*. [Elektronisk] Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Vägverket (2008) *Kodförteckning och beskrivning av Bro typer*. [Elektronisk] Borlänge: Vägverkets tryckeri.

Bilaga 1 – Teknisk beskrivning

- BLIVANDE MARKKONTUR 20m NORR OM STAKAD LINJE
- ===== BLIVANDE MARKKONTUR STAKAD LINJE
- BLIVANDE MARKKONTUR 20m SÖDER OM STAKAD LINJE



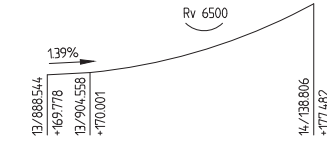
ELEVATION A-A
1200

FLÖDEN (m³/s)	VATTENSTÄND (m)
HHW-100ÅR 81	HHW-100ÅR +167,0
HHW-50ÅR 75	HHW-50ÅR +166,9
MHW 30	MHW +165,5
MW 5,6	MW +164,4

- DAGVATTENBRUNN
- NEDSTIGNINGSBRUNN
- DAGVATTENBRUNN
- ⊙ TILLSYNSBRUNN
- DRÄNLEDNING
- - - DAGVATTENLEDNING

EROSIONSSKYDD ENLIGT TB BYGGNADSVÄRK

PROFIL VÄG 40



ALLMÄNA ANVISNINGAR

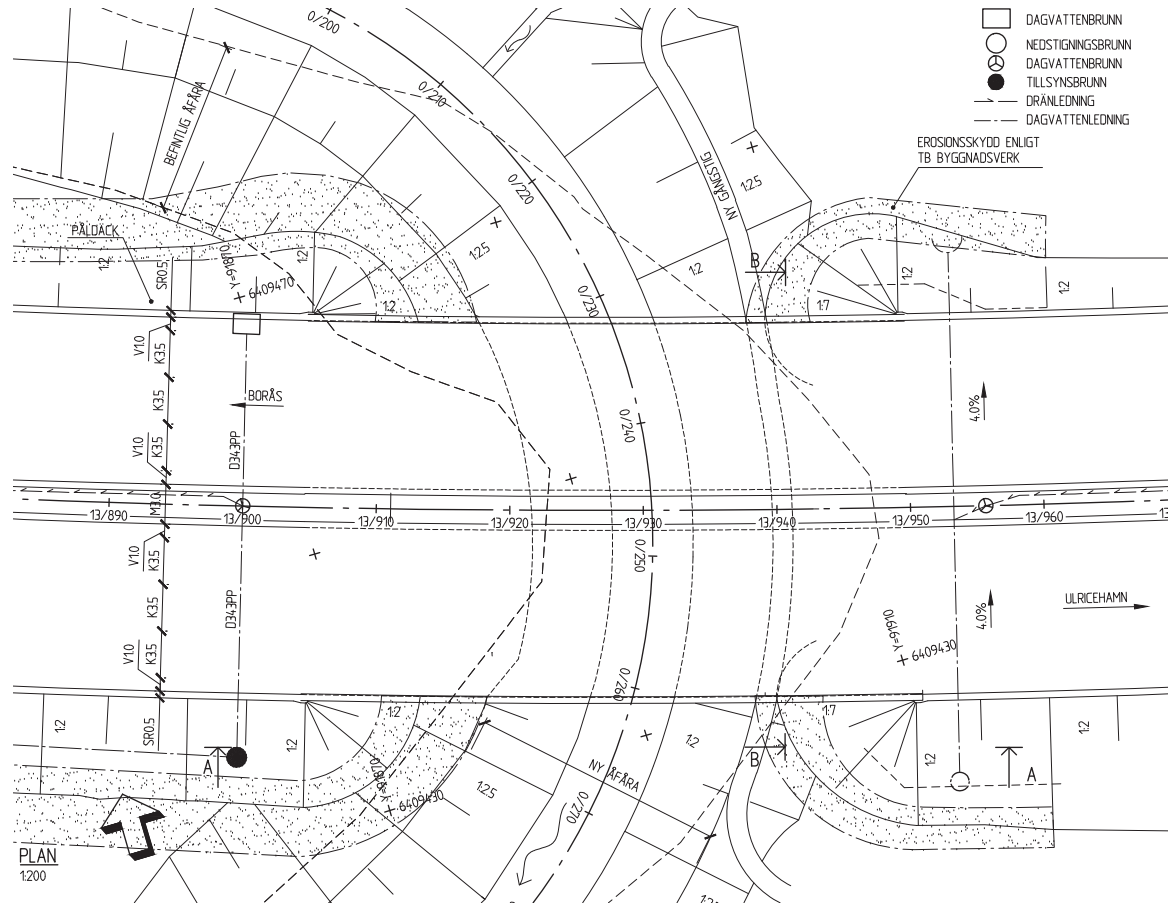
- HÖJDSYSTEM: RH 70
- HÖJDEFIX: ENLIGT MÄTPÄRM
- KOORDINATSYSTEM: RT 90 5 gon V 0-1
- POLYGONPUNKTER: ENLIGT MÄTPÄRM
- NORMER, FÖRESKRIFTER: BRON SKALL DIMENSIONERAS OCH UTFÖRAS ENLIGT TK BRO (PUBL 2009:7) SAMT ENLIGT BREV "ÄNDRINGAR AV TK BRO" DATERAT 2010-11-01 OCH TK GEO (PUBL 2008:49) SAMT TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK 2K110003 UPPRÄTTAD AV COWI AB, DATERAD 2011-09-15.

PLANDATA VÄG 40

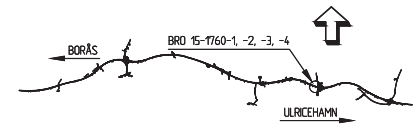
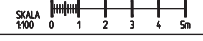
SEKTION	X	Y	ANM.
13/783.308	6409495.744	91757.240	
14/597.285	6409451.244	92553.088	R=1150

HÄNVISNINGAR

- LEDNINGAR ENLIGT RITNING 200W5115 OCH 16
- YTSKIKT ENLIGT RITNING 200L1906
- ÅNOMGRÄVNING ENLIGT RITNING 282W0901-09



PLAN
1200



SITUATIONSPLAN

REV	ÄNDRA	ANMÄRKNING	COG	DATUM	V DITTA	V DIVERGENT
BYGGHANDLING						
TRAFIKVERKET			FÖRFÄRINGSUNDERLAG			
COWI			VÄG 40 BORÄS-ULRICEHAMN DELEN DÄLLEBO - HESTER ETAPP 2 BRO ÖVER ÅTRAN I ULRICEHAMN			
Cow AB Strångörsgränd 1 BOX 12076 Göteborg			010-850 10 00 www.cowi.se			
ANSÖKAN A BERGHOLTZ		TILLÅTTELSE 161925		KM 13/910 FÖRSLAGSRITNING		
DRÖM C KIVLOD		DRÖM M BÄCKSTRÖM		PLAN, ELEVATION, SEKTION		
GÖTEBORG		2011-09-15		A1 ENLIGT FIGUR		
A BERGHOLTZ		85436030		245K2001		

**TRAFIKVERKET
PROJEKT VÄG 40 DÄLLEBO-ULRICEHAMN**

DELEN DÄLLEBO-HESTER, ETAPP 2

VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

TEKNISK BESKRIVNING BYGGNADSVÄRK

avseende

15-1760-1 (SÖDRA) OCH -2 (NORRA)

SAMT ANSLUTANDE PÅLDÄCK -3 (PÅLDÄCK VÄST) OCH -4 (PÅLDÄCK ÖST)

BRO ÖVER ÄTRAN I ULRICEHAMN, KM 13/930

OBJEKTNR 85 43 60 30

CHAOSNR 2K110003

Handlingen upprättad 2011-09-15

Handlingen reviderad: 2011-11-30

Innehåll

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA	4
Objektdata	4
Dokumentdata	4
REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING	5
Dokumentutformning	5
Avsnitt	5
Rubriker enligt Dispositionen	5
Typer av konstruktioner	5
Kravhierarkier	6
Förteckning över okodade underrubriker	6
B. TRAFIK	7
B1. Vägtrafik	7
C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER	8
C1. Befintlig mark och miljö	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden	8
C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden	10
C2. Befintliga konstruktioner	10
C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning	10
D. VÄGANLÄGGNING	11
DB. Vägkonstruktion	13
DB2. Underbyggnad/ Vägbro	13
DC. Vägbro	14
DC1. Bärverk i vägbro	14
DC12. Balk/ Kantbalk	14
DC13c. Upplagsanordningar	14
DC13cb. Lager	14
DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning	15
DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta	15
DC3. Komplettering i vägbro	15
DC31. Beläggning	16
DC33. Tätskikt, skyddslager	16
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt	16
DC33. Tätskikt, skyddslager/ Skyddslager	16
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa	16
DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningdubb	16
DC4. Slänt eller kon	16
DC41. Slänt	16
DC42. Kon	17
DC43. Erosionsskydd vid vattendrag / Tillfälligt	17
DC44. Erosionsskydd vid vattendrag / Permanent	17
DE. Avvattningssystem	17

DE2. Dränvattensystem	17
DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro	17
DF. Trafikskyddsanordning	18
DF2. Räcke	18
DF21. Sidoräcke	18
DF21. Sidoräcke/ Broräcke	18
X. DOKUMENTATION	19
X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering	19
XB. Projekteringshandling	19
XB. Projekteringshandling/ Design basis	19
XC. Arbetshandling	19
XC. Arbetshandling/ Vägbro	19
XD. Relationshandling	20
XD. Relationshandling/ Vägbro	21

OBJEKT- OCH DOKUMENTDATA

Objektdata

Vägnummer: Väg 40
Vägnamn: Väg 40 Borås - Ulricehamn
Objektnamn: Delen Dällebo – Hester, Etapp 2
Objektnummer: 85 43 60 30
Kommun: Ulricehamns Kommun
Län: Västra Götaland

Dokumentdata

Titel: Teknisk Beskrivning Byggnadsverk
15-1760-1 och -2 Bro över Ätran samt anslutande påldäck -3 och -4
Dokumentslag: 2K110003, Bygghandling
Utgivningsdatum: 2011-09-15
Utgivare: Trafikverket
Kontaktperson: Gunnar Jellbin
Konsulter: COWI AB
Carl Kiviloo Broprojektör
Ove Bramstång Geotekniker

REGLER FÖR DENNA BESKRIVNING

Dokumentutformning

Avsnitt

För denna OTB gäller att den innehåller rubriker under avsnitten:

- Objekt- och dokumentdata
- Regler för denna beskrivning
- B. Trafik
- C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner
- D. Väganläggning
- X. Dokumentation.

I avsnitt ”Objekt- och dokumentdata”, anges uppgifter som en del av förvaltningsdata.

I avsnitt ”Regler för denna beskrivning” anges regler för tolkning av denna beskrivning. Här anges bland annat uppdelning i avsnitt, användning av rubriker och underrubriker samt kravhierarkier (pyramidregel).

I avsnitt ”B. Trafik” anges den trafik som konstruktionerna ska dimensioneras för.

I avsnitt ”C. Befintlig mark, miljö och konstruktioner” beskrivs de befintliga förhållandena före entreprenadens genomförande samt eventuella krav på åtgärder.

I avsnitt ”D. Väganläggning” anges förutsättningar och krav som gäller för entreprenaden avseende gestaltning, utformning och byggande.

I avsnitt ”X. Dokumentation” anges krav på dokumentation m.m.

Rubriker enligt Dispositionen

Avsnitt som inleds med en bokstavskod (Exempel: ”B. Trafik”) är strukturerade med rubriker enligt en av Trafikverket framtagen disposition. Texterna är insorterade under dessa rubriker. Rubrikerna består av kod och benämning.

Exempel: Rubriken ”D. Väganläggning”, där ”D” är koden och ”Väganläggning” är benämningen (klartexten) för koden ”D”.

Typ av konstruktioner

Väganläggning (hel väganläggning) uttrycks av rubriken ”D. Väganläggning”. Där beskrivs det som gäller för hel väganläggning.

Konstruktion eller konstruktionsdel (del av väganläggning) uttrycks i Dispositionen av de bokstavskodade rubrikerna ”DB. Vägkonstruktion”, ”DC. Vägbro” och så vidare inklusive deras underliggande bokstavskoder (som alltså saknar snedstreck). Under varje sådan rubrik beskrivs det som gäller för denna konstruktion.

Typ av konstruktion uttrycks i Dispositionen av rubrik för konstruktion följt av ”/x” där x anger typ av konstruktion. Exempel på rubrik är ”DC11. Brobanepatta/ Platsgjuten brobanepatta” där brobanepatta är konstruktion och platsgjuten brobanepatta är typ av sådan konstruktion.

Kravhierarkier

Koderna är uppbyggda så att varje tillkommande tecken, räknat från vänster till höger, anger ett begrepp på underordnad nivå. Exempelvis är "DB" underordnad "D" och "D" är överordnad "DB".

Vissa koder innehåller dock i stället för ett tillkommande tecken ett snedstreck ("/") följt av en benämning. Detta snedstreck och benämning motsvarar ett tillkommande tecken, det vill säga en (1) kodposition i hierarkiskt avseende.

Krav under rubrik med överordnad kod gäller även som krav under en underordnad kod. Exempelvis gäller krav under "D" som tillägg till krav under "DB".

Krav under en underrubrik gäller även som krav under en mera specificerad underrubrik. Exempelvis gäller krav under "Teknisk lösning" som tillägg till krav under "Teknisk lösning. Märkning".

Förteckning över okodade underrubriker

Under okodade underrubriker anges krav indelade enligt följande.

De okodade underrubrikerna är:

- Omfattning
- Funktion
- Teknisk lösning
- Kontroll

Under "Funktion" och under "Teknisk lösning" ställs krav och anges kvalitetsnivåer. För varje krav ställs i direkt anslutning krav på dess kontroll under rubriken "Kontroll".

Under "Funktion" hanteras följande:

- Bärförmåga, stadga och beständighet
- Säkerhet vid användning
- Hälsa och miljö
- Buller
- Energihushållning
- Säkerhet vid brand

Under "Teknisk lösning" hanteras följande:

- Material
- Vara
- Konstruktion
- Utförande
- Märkning

Under "Kontroll" hanteras följande:

- Provning (inklusive mätning)
- Beräkning
- Besiktning

B. TRAFIK

B1. Vägtrafik

ÅDT för väg 40 beräknas till 12000 (år 2015). År 2035 beräknas ÅDT till 15100. Andel tung trafik ska förutsättas vara 22%.

Alla personbilar ska förutsättas ha dubbdäck under perioden 1 oktober till 30 april. Vidare ska förutsättas att vägbanan saltas.

C. BEFINTLIG MARK, MILJÖ OCH KONSTRUKTIONER

Omfattning

De befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs eller behöver rivas eller flyttas eller mark som behöver avverkas eller röjas, beror på hur entreprenören utformar brobygget. Under ”C1. Befintlig mark och miljö” samt under ”C2. Befintliga konstruktioner” listas de objekt som kan komma att beröras med typ och läge.

Entreprenören ska för befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar, som berörs av entreprenaden, projektera och utföra vad som erfordras för att uppfylla angivna krav.

Där det på ritning anges att hus eller anläggning, t.ex. väg eller annan anläggning ska bortschaktas ska även berörda trafikskydds- och trafikledningsanordningar rivas. Återställning efter bortschaktning ska ske till standard lika omgivande mark.

Funktion

Befintliga funktioner på befintliga hus, broar, vägar och andra anläggningar ska vara oförändrade under byggandet av den nya bron och efter det att den har tagits i bruk.

Kontroll

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfyllts.

C1. Befintlig mark och miljö

Se plan, längd- och tvärsnitt på ritning nummer 245G1101, 245G1201 och 201G13BL–201G13BP.

C1. Befintlig mark och miljö/ Topografiska förhållanden

Omfattning

Bron med påldäck kommer att uppföras kring Ätråns åfåra. På ömse sidor om åfåran består terrängen av åker- och ängsmark. Strandbrinkarna är trädbevuxna. Ungefär 50m öster om Ätrå sträcker sig Väg 46 i syd-nordlig riktning. Ätrå är nedskuren till botten nivå +161. Åker- och ängsmarken ligger ungefär på nivån +166 på västra sidan och på +167 på östra sidan.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geotekniska förhållanden

Omfattning

Västra sidan om Ätrå

Djupet till berg varierar mellan 66 (+100) och 69m (+98).

Överst består jordlagren av postglaciala svämsediment av siltig sand med mycket låg relativ fasthet till ungefär 2m djup (+164,5). Svämsedimenten vilar på finkorniga sediment bestående av växelvisa varvade lager av sand/torv och siltig finsand till ungefär 9m djup (+157) där relativa fastheten är mycket låg. Därunder förekommer siltig lera till ungefär 12m djup

(+154) med mycket låg relativ fasthet vilande på silt och finsand till ungefär 31m djup (+135) där relativa fastheten är medelhög - hög. Därunder bedöms jordlagren bestå av glaciala grovkorniga sediment av stenig sand och grus till ungefär 62m djup (+104) med en hög- mycket hög relativ fasthet vilande på en mycket blockig bottenmorän på berg med mycket hög relativ fasthet. I moränen har 2 st 0,6m och ett 1,2m stort block genomborrats.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till mellan 30 och 50% i sand/torv, mellan 85 och 114% i siltig torv, mellan 40-55% i siltig finsand, 30 % i finsand, 25% i silt och till mellan 30 och 45 i siltig lera. Konflytgränsen är uppmätt till 50% i den siltiga leran.

Den siltiga lerans karakteristiska skjuvhållfasthet sätts till 40 kPa och sensitiviteten till mellan 15 och 20.

Bedömda värden på karakteristisk inre friktionsvinkel Φ'_k . Värdena har korrigerats för siltig jord.

Mycket låg relativ fasthet $\Phi'_k = 28^\circ$

Låg relativ fasthet $\Phi'_k = 30^\circ$

Medelhög relativ fasthet $\Phi'_k = 33^\circ$

Hög relativ fasthet $\Phi'_k = 35^\circ$

Mycket hög relativ fasthet $\Phi'_k = 39^\circ$

Östra sidan om Ätran

Djupet till berg varierar mellan 61 (+92) och 72m (+105).

Överst består jordlagren av postglaciala svämsediment av siltig finsand med mycket låg relativ fasthet till ungefär 1,5 till 2,5m djup (+165). Svämsedimenten vilar på finkorniga sediment bestående av varvade lager av sandig silt, siltig torv, torvig siltig finsand och siltig finsand med växtdelar till ungefär 8m (+159) djup. Relativa fastheten är här mycket låg. Därunder består jordlagren av finkorniga sediment av silt och finsand till ungefär nivån +117 med en relativ fasthet som är mycket låg till nivån +156, låg till nivån +151, medelhög till nivån +144, hög till nivån +131 och mycket hög därunder. Därunder bedöms jordlagren bestå av glaciala grovkorniga sediment av stenig sand och grus till ungefär nivån +105 och därunder en blockig bottenmorän på berg. Relativa fastheten är här mycket hög.

Den naturliga vattenkvoten är uppmätt till 70 % i siltig finsand/torv, mellan 91 och 141% i siltig torv, till 35% i sandig silt med växtdelar/torv, mellan 30-35% i siltig finsand, mellan 35-50% i finsand med växtdelar, 30% i silt och till 55 % i siltig finsand med växtdelar, till 40% i sand med växtdelar.

Bedömda värden på karakteristisk inre friktionsvinkel Φ'_k . Värdena har korrigerats för siltig jord.

Mycket låg relativ fasthet $\Phi'_k = 29^\circ$

Låg relativ fasthet $\Phi'_k = 30^\circ$

Medelhög relativ fasthet $\Phi'_k = 33^\circ$

Hög relativ fasthet $\Phi'_k = 35^\circ$

Mycket hög relativ fasthet $\Phi'_k = 39^\circ$

Teknisk lösning

Schakt för väg kommer att utföras enligt TB/väg.

C1. Befintlig mark och miljö/ Geohydrologiska förhållanden

Omfattning

Grundvattennivån inom området närmast Ätran följer i stort åns vattenstånd med en viss fördröjning.

Dimensionerande vattenstånd (höjdsystem RH 70) för Ätran vid det aktuella broläget framgår av följande tabell:

Högsta högvatten	HHW-100år	+167,0
	HHW-50år	+166,9
	MHW	+165,5
	MW	+164,4
	MLW	+163,6
	LLW-50år	+163,1

Dimensionerande vattenstånd avser förhållanden efter uppräknig för klimatförändringar.

C2. Befintliga konstruktioner

C2. Befintliga konstruktioner/ Elledning

Omfattning

Befintlig elledning i anslutning till område för bro över Ätran i km 13/930 omläggs öster om bro över Ätran, se ritningar 200W5115-16. Omläggning utförs enligt handling 10.1 MF väg40.

D. VÄGANLÄGGNING

Omfattning

Denna tekniska beskrivning byggnadsverk omfattar 15-1760-1 och -2 Bro över Ätran i Ulri-cehamn med anslutande påldäck -3 och -4.

Kontroll

Kontroll ska ske på sätt som anges under aktuell rubrik. Saknas kontrollmetod gäller att kontroll ska ske enligt vedertagna och beprövade metoder eller enligt dokumenterade vetenskapliga metoder eller genom besiktning där besiktningsmannen genom besiktning avgör om alla krav uppfylls.

Funktion

Väganläggning ska uppfylla de krav som föranleds av den trafik som framgår av avsnitt B1. Vägtrafik.

Vid dimensionering ska VVFS 2003:140 "Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)" och VVFS 2004:31 "Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator" följas i kombination med VVFS 2004:43 "Vägverkets föreskrifter om tillämpning av europeiska beräkningsstandarder".

Vid utformning och dimensionering för bärförmåga, stabilitet och upplyftning av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:46, TK Geo ska minst krav i kap. 1, 2, 3, 4 och 5 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av de delar i väganläggning som omfattas av Vägverkets publikation 2009:120 VVK Väg ska minst krav i kap. 1, 2 och 4 uppfyllas.

Vid utformning och dimensionering av byggnadsverk ska VV publikation 2009:27 TK Bro följas. TK Bro ska tillämpas enligt avsnitt A.1.5.3. För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder och som har använts av entreprenören och som inte är beskrivna i TK Bro ska förslag till teknisk lösning innehållande en särskild kravspecifikation upprättas enligt avsnitt A.1.4 Teknisk lösning. Väganläggningens utformning, gestaltning och miljö ska uppfylla krav i denna TB.

All utformning ska utgå från ett trafiksäkerhetstänkande samt att drift och underhåll ska kunna utföras effektivt och med moderna metoder. Trafikmiljön ska utformas förlåtande. Oskyddade trafikanter ska beaktas.

Entreprenadarbeten ska bedrivas så att fornminnen inte skadas.

För del av väganläggning där krav inte ställts ska den ambitions- och kvalitetsnivå följas som uttryckts genom ställda krav för övriga delar av aktuell väganläggning.

Kontroll. Funktion

Under byggskedet ska entreprenören följa upp och kontrollera i tillräcklig omfattning att beräkningsförutsättningar, beräkningsantaganden, materialegenskaper och lagertjocklekar samt övriga produktionsresultat och gjorda utfästelser för material och varor som förutsatts vid projekteringen överensstämmer med förutsättningar och antaganden som använts vid projekteringen.

För dimensioneringsmetoder, utformningar eller utförandemetoder som inte omfattar krav på produktionsresultat som ansluter till AMA Anläggning 07 ska kontroll uppfylla krav enligt en särskild kravspekifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9.

Teknisk lösning

Avvikelse från förfrågningsunderlagets profilhöjder får inte ske.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som åberopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Kravnivå för enskilda produkter ingående i broar och byggnadsverk ska uppfylla implementerade SS-EN standarder och där sådan saknas ska nivå på tillämplig egenskap specificerad i AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 uppfyllas, varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska uppfyllas.

Ingående material ska ha sådana egenskaper att konstruktionsdelen i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela den dimensionerande tekniska livslängden.

Om för material och vara särskilda bestämmelser för SS-EN utgivits ska entreprenören eller dennes leverantör genom kontroll eller intyg eller genom verifiering enligt nivå 1 visa att bestämmelserna för aktuell standard tillämpas med i bestämmelserna angivna förutsättningar avseende t.ex. utförande och samhörighet med andra standarder.

Material ska vara:

- acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt
- sådana att de inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske i byggskedet enligt av entreprenören upprättat kontrollprogram

För produkt, material eller vara ska tillverkaren genom verifiering eller kontroll visa att den tekniska livslängden minst motsvarar kraven på dimensionerande livslängd för den konstruktion som material eller vara är avsedd för.

I de fall entreprenören väljer tekniska lösningar eller material ska krav enligt TK Bro, TK Geo kapitel 6-17 eller VVK Väg och krav på material eller utförande som åberopas genom hänvisning till AMA Anläggning 07 vara uppfyllda. Produktionsresultat utifrån dessa val ska uppfylla krav på kontroll enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

Om produkter, material och varor som är beskrivna i AMA Anläggning 07 väljs för väganläggningen ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt AMA Anläggning 07 med ändringar och tillägg enligt VV publikation 2010:094 VV AMA 09 rev.2 varvid krav ställda för bro eller kategori A i förekommande fall ska tillämpas.

För produkter, material och varor som inte är beskrivna i AMA Anläggning 07 ska kontroll och verifiering uppfylla krav enligt en särskild kravspecifikation som är upprättad och godtagen enligt VV publikation 2009:27 TK Bro, A.1.4 och A.1.9 alternativt VVK 1.1.1. Verifiering av att sådana produkter, material och varor uppfyller ställda krav kan ske genom certifiering enligt nivå 1 enligt AMA Anläggning 07 kod YE eller genom tillverkarförsäkring enligt nivå 2-4. Att produkt, material eller vara uppfyller ställda krav kan alternativt, där en europeisk standard, SS-EN, finns, ske genom att krav i aktuell standard uppfylls till i standarden angiven bekräftelseprocedur.

Teknisk lösning. Märkning

Märkning ska överensstämma med upprättad teknisk dokumentation och däri åberopade produktstandarder.

Märkning ska utföras av beständigt material med beständig text och betryggande fastsättning. Text ska skrivas på svenska. Endast vedertagna förkortningar får användas.

Märkning ska placeras synlig.

Märkband och skyltar placerade utomhus ska vara beständiga mot UV-strålning, föroreningar m.m.

Märkkulörer ska vara enligt SS 03 14 11.

Märkning ska utföras innan installation tas i drift. Märkning ska utföras så att tvekan inte kan uppstå om vilken komponent märkningen avser och så att märktext lätt kan läsas under drift.

Märkskyltar, märkband o.d. som riskerar nedsmutsning ska förses med ytskikt eller vara behandlade med preparat som underlättar rengöring.

Kontroll. Teknisk lösning. Märkning

Kontroll ska ske genom besiktning.

DB. Vägkonstruktion

DB2. Underbyggnad/ Vägbro

Teknisk lösning

Fyllning mot bro skall utföras med förstärkningslagermaterial (0-90 mm) enligt AMA DCB.211 och enligt TK Geo, tabell 7.3-1 upp till terrassnivå för anslutande väg eller underkant släntkappor.

Fyllning skall ske med försiktighet så att betongkonstruktioner inte skadas.

Aktuell vägöverbyggnad framgår av normalsektionsritning.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och provning.

DC. Vägbro

Funktion

Funktionskrav utöver VV publikation 2009:27 TK Bro framgår av geometriska krav för fria utrymmen enligt förslagsritning 2 45 K 2001.

Formgivningsvillkor framgår av förslagsritning.

Bron och anslutande påldäck ska ha en dimensionerad teknisk livslängd på 80 år.

Broarbetet påverkas inte av allmän trafik.

Kontroll. Funktion

Grundläggningsarbetena skall kontrolleras i Geoteknisk kategori GK2.

Teknisk lösning

Gjutfog får inte placeras i synliga ytor på vingmurar, sidoskärmar eller ändstöd.

För kantbalkars yttersidor får endast bräder som tidigare använts som formmaterial nyttjas. Kantbalkars insida formsätts med valfri form som kläs med formsättningsduk. Detta gäller även del vingmurar som formsätts med lutande överform.

Formsläppmedel ska vara av vegetabilisk art och av typ som med dokumenterat gott resultat tidigare använts vid gjutning av brokonstruktioner.

DC1. Bärverk i vägbro

Teknisk lösning

För kantbalk skall basmättet vara minst 50 mm. Mättet ska innehållas även vid droppnäsor. För övriga byggnadsverksdelar skall basmättet vara minst 40 mm.

Minsta differens mellan basmått skall vara 10 mm.

På synliga ytor ska formstag av kompositmaterial eller rostfritt material användas.

DC12. Balk/ Kantbalk

Teknisk lösning

Kantbalkens bredd ska vara 500 mm. Vid kantbalksände fasas kantbalk 100 mm i plan på 200 mm längd på sida som vetter mot överliggande väg.

Kantbalken utformas som förhöjd och med rundning i underkant enligt förslagsritning 245K2001.

DC13c. Upplagsanordningar

DC13cb. Lager

Teknisk lösning

Bron ska förutsättas med topplager. Lager ska vara CE-märkta.

DC2. Grundläggning av vägbro/ schaktning

Funktion

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 ”Riskanalys Mark- och bergschaktningsarbeten”.

Teknisk lösning

Schaktnings- och fyllningsarbeten för bottenplattor skall ske i torrhet. Arbetena skall ske inom tillfällig spont.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska utföras genom besiktning.

DC2. Grundläggning av vägbro/ pålning

Omfattning

Grundläggning av bron inklusive påldäck skall ske på betongpålar där varje enskild påle är spets- och mantelburen och där huvuddelen av bärförmågan erhålls längs manteln i friktionsjord.

Funktion

Krav på max tillåtna vibrationer m m framgår av Handling 13.2 ”Riskanalys Mark- och bergschaktningsarbeten”.

Pålarna skall drivas ner till djup så att erforderlig geoteknisk bärförmåga kan verifieras (se även bilaga 8 till MUR Geo, handling 13.5, ”Sammanställning Provpålning Ätradalen” innehållande av Pålanalys utförd ”PDA mättningsrapport” över provpålning daterad 2009-12-15).

Teknisk lösning

Pålning skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.121 samt pyramidalt överordnade koder.

Kontroll. Teknisk lösning

Produktionspålning inleds med provpålning av minst 3 pålar/stöd.

Grund-och tilläggskontroll skall utföras enligt AMA Anläggning 07 kod CCB.

DC2. Grundläggning av vägbro/ bottenplatta

Teknisk lösning

Gjutningsarbete för bottenplattor (bro inklusive påldäck) skall förutsättas ske i torrhet.

Bottenplattans överyta skall ges en lutning av minst 2% mot fri kant.

Gjutning godtas utförd mot vattenavvisande papp eller plastfolie.

I tvärled får den vertikala stödförskjutningen inte överstiga 1/500 av bottenplattans längd.

DC3. Komplettering i vägbro

Teknisk lösning

En skylt med god beständighet visande året för färdigställande ska monteras på varje bro. Placering bestäms i samråd med beställaren.

Klotterskydd av typ ”offerskydd” ska anbringas på synliga betongytor på ändstöd och vingar. Klotterskyddet ska vara utprovat tillsammans med valt ytbehandlingspreparat.

DC31. Beläggning

Teknisk lösning

Bron ska förses med beläggning för väg 40 med 25 mm tillfälligt slitlager TSK, permanent slitlager om 40 mm utförs i sidoentreprenad enligt normalsektion 201T0401.

Kombinerat skydds- och bindlager utförs med 50 mm PGJA.

DC33. Tätskikt, skyddslager

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Tätskikt

Teknisk lösning

Bron och anslutande påldäck förses med tätskikt av isoleringsmatta på MMA-primer.

DC33. Tätskikt, skyddslager/ Skyddslager

Teknisk lösning

Påldäck förses med skyddslager av 15 mm ABT 4 / B 160/220.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Fog med fogmassa

Teknisk lösning

Fog med fogmassa djup 40, bredd 20, utförs i slitlagret längs kantbalkar.

DC38. Diverse kompletteringar i vägbro/ Avvägningdubb

Teknisk lösning

Bron ska förses avvägningsdubbar enligt TK Bro.

DC4. Slänt eller kon

Omfattning

Ytskikt ingår ej i broarbetet

DC41. Slänt

Teknisk lösning

Slänter runt bron (dock ej under bron) kläs med släntkappor bestående av 100 mm växtjord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Slänter i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

DC42. Kon

Teknisk lösning

Koner runt bron kläs med släntkappor bestående av 100 mm växtjord som besås, GR2-yta, enligt kap DCL.112 respektive DDB.111 i Handling 11.1, TB väg.

Koner i anslutning till bron får inte utföras brantare än i lutning 1:1,7.

DC43. Erosionsskydd vid vattendrag / Tillfälligt

Teknisk lösning

Tillfälligt erosionsskydd ingår i brobyggnadsarbetet och ska dimensioneras enligt VV publ 1987:18 "Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad" för under byggnadstiden uppkommande vattenhastigheter.

DC44. Erosionsskydd vid vattendrag / Permanent

Teknisk lösning

Brokoner ska förses med erosionsskydd bestående av 500 mm naturgrus 0-50, $d_{50} > 36$ upp till nivån +167.0

DE. Avvattningsystem

DE2. Dränvattensystem

Omfattning

Dränvattensystem avleder dräneringsvatten och omfattar dräneringsledningar och dräneringsbrunnar.

Funktion

Dräneringssystem ska kunna dränera väggroppen, där så är erforderligt, så att stabilitet och säkerhet mot skred eller uppflytning inte försämras samt att sättningar inte uppstår.

Kontroll. Funktion

Kontroll ska ske genom nivåkontroll och inre inspektion av dräneringsledningar och tillhörande brunnar.

Dräneringsledningar ska uppfylla krav på deformation enligt toleransklass A vid kontroll av deformation enligt Svenskt Vatten P91.

DE21. Dränvattenledning/ Grundavlopp i bro

Teknisk lösning

Grundavlopp enligt VV ritning 584:6 S-g, rev A och 584:6 S-m samt anordnas längs de norra kantbalkarna. Grundavloppsrör och tratt skall utföras av syrafast rostfritt stål enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436.

DF. Trafikskyddsanordning

DF2. Räcke

DF21. Sidoräcke

Omfattning

I anslutning till broräcke ska vägräcke förses med kapacitetsutjämnande övergång enligt TK Bro G.9.1.8. Ingår i vägarbetet.

DF21. Sidoräcke/ Broräcke

Teknisk lösning

Broräcken ska utföras enligt TK Bro.

Räcken skall uppfylla funktionskrav enligt SS-EN 1317-2 samt vara CE-märkt enligt SS-EN 1317-5. Räcke skall dessutom uppfylla material- och utförandekrav enligt SS-EN ISO 1461 (1), SS-EN ISO 10684 (1), SS-EN 206-1 (1), SS 137010 (1).

Bron förses med broräcke med topp- och navföljare av rörprofil.

På broar med kantbalk ska räckesståndare skruvas fast.

Broräcken och anslutande vägräcken ska utföras med samma typ av navföljare och tillhöra samma CE-märkta räckesfamilj och ha samma tillverkare.

Fotplåtar till broytterräckets ståndare fästs till kantbalk med syrafasta rostfria skruvar, muttrar och brickor enligt SS-EN 10 088 i kvalitet lägst 1.4436. Fotplåtarnas kanter rundas till mellan 3-4 mm radie. Fotplåtarna utformas så att inte kiselutarmning av stålet uppkommer.

Fotplåtar ska inte undergjas.

Skruvarna förses med grafitfett eller vax.

Räckesskruvar får inte komma i kontakt med kantbalkens armering.

Leverans av broräckesavslutningar ingår i broarbetet. Montage ingår i vägarbetet.

Kontroll. Teknisk lösning

Kontroll ska ske genom besiktning och mätning.

X. DOKUMENTATION

X. Dokumentation/ Digital dokumenthantering

Se handling 11.1 TBväg, YC.

XB. Projekteringshandling

XB. Projekteringshandling/ Design basis

Entreprenören ska inledningsvis lämna en redogörelse för förutsättningar och metoder vanligen benämnd ”design basis”. Denna ska minst behandla följande:

- objektspecifika förutsättningar för dimensionering och utformning
- beskrivning av beräknings- och analysmetoder som avses att användas vid dimensionering och utformning
- objektspecifika val avseende material och utförande
- beskrivning av provnings- och kontrollmetoder som avses att användas samt avstämning hur gjorda beräkningsantaganden, materialval, utförandemetod etc. säkerställs och hur avvikelser av dessa hanteras och åtgärdas
- beskrivning av rutiner för verifiering
- en redovisning av principer för hur dokumentation av provnings- och kontrollresultat samt verifiering av dessa ska utföras
- en redovisning av hur dokumentation avseende drift- och underhållsplaner upprättas.

XC. Arbetshandling

Entreprenören ska projektera och upprätta konstruktionshandlingar med beräkningar, ritningar, beskrivningar och kontrollprogram med tillhörande kontrollplaner.

Kontroll av projekteringsresultatet ska ske före arbetenas påbörjande, dels genom entreprenörens kontroll i tillräcklig omfattning och dels genom beställarens granskning. Detta ska även ske under byggskedet och för vissa delar även under garantitiden.

Kontroll av fri höjd, angiven på av beställaren godtagen arbetsritning skall utföras av entreprenör innan arbete med broöverbyggnad påbörjas. Kontroll ska utföras genom mätning och mätresultat skall protokollföras.

För de delar i väganläggningen som omfattas av VV publikation 2009:27 TK Bro ska krav på konstruktionsredovisning och kontroll av konstruktionsredovisning i denna uppfyllas.

Arbetshandlingar ska levereras digitalt.

XC. Arbetshandling/ Vägbro

I inledning av konstruktionsarbetet ska entreprenör kalla till startmöte enligt VV publikation 2009:27 TK Bro. Vid mötet skall redogörelse för förutsättningar och metoder för dimensionering presenteras. Eventuella förändringar i förhållande till förfrågningsunderlaget ska redovisas tydligt. Beställaren ska ges möjlighet att lämna remissynpunkter på handlingarna inom 10 arbetsdagar.

Konstruktionsredovisningen och eventuella remissyttranden sänds för kontroll tillsammans med den av beställaren godtagna förslagsritningen till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb och till Trafikverkets projektledning.

Vid tillämpning av VV publikation 2009:84 ”Kontroll av konstruktionsredovisning” kan en indelning i grupper enligt råden i denna publikation preliminärt förutsättas. Gruppindelningen bestäms slutgiltigt efter att entreprenörens förslag till tekniska lösningar har presenterats.

En tidplan för insändandet av konstruktionsredovisning för kontroll ska upprättas av entreprenören och insändas till beställaren. Beställarens redovisningskrav och administrativa krav som ska uppfyllas framgår av VV publikation 2009:27 TK Bro, del A.

Beställarens rutiner för kontroll framgår av handling 9, AF Bilaga 3.

Kopior av märkta handlingar fördelas av entreprenören enligt följande:

- tre omgångar ritningar och beskrivningar sänds till beställarens projektledning
- en omgång handlingar enligt krav i VV publikation 2009:27 TK Bro del A sänds till Trafikverket, avdelning Teknik och Miljö, enhet Byggnadsverk, IVtb.

XD. Relationshandling

Relationshandlingar för utförda arbeten ska utgöra informationsunderlag under garantitid samt efterföljande drift och underhåll under anläggningens hela livslängd.

Alla relationshandlingar som produceras i projektet ska levereras till beställarens projekthanteringssystem och i dess struktur. Relationshandlingar ska vara daterade, granskade och godkända av ansvarig person hos entreprenören. Relationshandlingar ingår i entreprenaden och ska godkännas av beställaren. Krav på leveranstid för relationshandlingar anges i Entreprenadkontraktet § 7

Blanketterna ”Registrering av beläggningsåtgärder” och ”För rapportering av fri höjd i vägportar” ska ifyllas efter färdigställt objekt och redovisas till beställaren.

Relationshandlingar för byggnadsverk ska dokumentera lägen, dimensioner, använda material, uppmätta funktionella egenskaper, utföranden o d, med beräkningar, ritningar och beskrivningar samt protokoll för utförda kontrollmätningar.

Beställda utförandehandlingar, protokoll och intyg från beställda provningar och kontroller samt produktverifikationer i nivåer 1, 2 och 3 enligt YE i handling 11.1, TB Väg, ska bifogas relationshandlingarna.

Bestyrkta egenskaper för produkter enligt SS-EN ska vara dokumenterade.

Relationshandling ska vara daterad och signerad av ansvarig person hos entreprenören samt försedd med uppgift om vilken anläggningsdel som handlingen avser. Förteckning över aktuella relationshandlingar ska bifogas.

Relationsritning ska vara försedd med ”RELATIONS-RITNING” i statusraden i ritningshuvudet.

Symboler, beteckningar, definitioner, scheman o.d. ska vara enligt svensk standard där sådan finns.

Handlingar för drift- och underhåll ska vara skrivna på svenska.

Skalenliga ritningar ska förses med grafisk skala.

Handling ska vara i format enligt A-serien.

Inmätning för relationshandling ska utföras i för objektet gällande koordinat- och höjdsystem.

Anordning som ska fyllas över eller på annat sätt blir dold ska mätas in under arbetets gång.

Material som av miljöskäl enligt handlingarna ska hanteras på angivet sätt dokumenteras med avseende på kemisk sammansättning, placering och vidtagna skyddsåtgärder.

Material som kan orsaka skada vid oriktig behandling ska dokumenteras.

Relationshandlingar i original är beställarens egendom.

Relationshandlingar i original ska vara arkivbeständiga.

Planritningar ska vara försedda med koordinatbestämt rutnät.

Drift- och underhållsinstruktion ska upprättas enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 1999:39 1§ rörande objektets slutliga konstruktion och utformning samt de byggprodukter som använts, i den omfattning som är av betydelse för säkerhet och hälsa vid arbete med drift, underhåll, reparation, ändring och rivning av objektet.

XD. Relationshandling/ Vägbro

För de handlingar som omfattas av kraven på konstruktionsredovisning enligt VV publikation 2009:27 TK Bro gäller denna i sin helhet.

Relationshandlingar ska bestå av:

- arbetsritningar i original (ovikta)
- under byggskedet tillkommande geotekniska utredningar, beräkningar, beskrivningar och ritningar
- betonggjutningsjournaler
- eventuella avvikelserapporter
- förteckning över aktuella handlingar
- ifyllda kontrollplaner för tilläggskontroll
- I tillägg till TK Bro gäller kontrollintyg enligt BSK 99, avsnitt 9:4 samt röntgenfilmer och röntgenfilmplaner enligt AMA Anläggning 07, GBD.1
- mätprotokoll avseende lagerinställningar, lod- och avvagningsdubbar
- provningsintyg
- pålningsprotokoll och pålplan
- redovisning av kvarlämnad spont i plan och höjd med inmätta värden
- arbetsbeskrivningar upprättade av entreprenören
- verifikat och certifikat enligt SS-EN standard alternativt YE i handling 11.1, TB Väg
- drift- och underhållsplan.

På original exemplet av sammanställningsritningen ska redovisas

- använd typ av tillsatsmedel i betong
- beteckning på färgsystems ingående delar samt kulör på yttersta färgskiktet
- förteckning över av beställaren godtagna handlingar
- lagerinställningar
- sammansättning av injekteringsbruk med uppgift om cementfabrikat, tillsatsmedel, dosering samt $v_{C_{tekv}}$
- typ av och beteckning på lager inklusive antal per stöd
- uppmätta värden vid inmätning av lod- och avvagningsdubbar
- vid grundläggning på berg, höjder för bottenplattas underkant.

Uppgift om valt material ska föras in på originalritningarna om det på de godtagna ritningarna

- anges att likvärdigt material kan användas
- hänvisats till material enligt av beställaren upprättad förteckning över godtagna produkter.

Uppgift om vald standardritning ska föras in på originalritningarna om hänvisning endast gjorts till beställarens standardritningar utan att precisering gjorts till speciell ritning.

Eventuella smärre avsteg från godtagen ritning ska vara införda på originalritningarna.

Mätprotokollen avseende inmätning av lagerinställningar och fogöppningar ska utöver mätresultaten innehålla datum för mätningen samt lufttemperaturen vid mätningen.

Inmätning av lod- och avvagningsbubbar ska utföras enligt BJB.22 i handling 11.1, TB Väg.

Konstruktionshandlingar för konstruktioner som ska omfattas av TK Bro ska registreras i Trafikverkets digitala register över broar och tunnlar, BatMan.

I tillägg till vad som anges i TK Bro, A.4.3.8 ska drift- och underhållsplaner för broar upprättas oavsett bronstyp och storlek:

- underhållsmålning

Bilaga 2 - Preliminärdimensionering

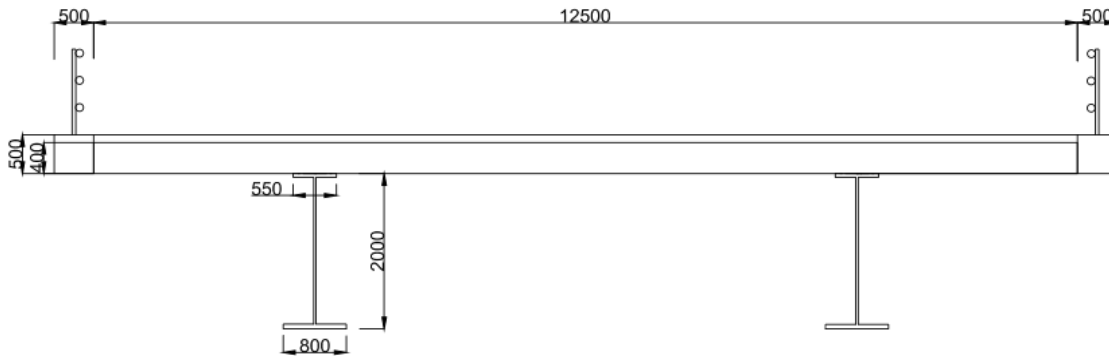
Innehållsförteckning

1	Parametrar för preliminärdimensionering	1
1.1	Dimensioner	1
1.2	Materialkonstanter	3
1.3	Parametrar tillhörande trafiklaster	4
1.4	Brolaster	6
2	Moment- och tvärkraftsberäkningar	7
2.1	Brottsgränstillstånd 6.10a och 6.10b	8
2.1.1	Lastfall I	8
2.1.2	Lastfall II	19
2.2	Bruksgränstillstånd 6.14b	31
2.2.1	Lastfall I	31
2.2.2	Lastfall II	42
2.3	Bruksgränstillstånd 6.15b	53
2.3.1	Lastfall I	53
2.3.2	Lastfall II	63
2.4	Bruksgränstillstånd 6.16b	74
2.4.1	Lastfall I	74
2.4.2	Lastfall II	81
2.5	Beräkning av lastspridning för punktlaster	90
3	Dimensionering i tvärled	91
3.1	Bestämning av betongklass	91
3.2	Dimensionering av tvärsnitt i brottsgränstillstånd	91
3.3	Noggrann analys av tvärsnitt i brottsgränstillstånd	96
3.3.1	Fält	96
3.3.2	Stöd	99
3.4	Dimensionering av tvärsnitt i bruksgränstillstånd	103
3.5	Armeringens avkortning och förankring i brottsgränstillstånd	114
4	Dimensionering i längsled	118
4.1	Beräkning av medverkande betongbredd	118
4.2	Kontroll av I-balkens flänsar	119
4.3	Kontroll av spänningar i bruksgränstillstånd	122
4.4	Beräkning av antal studs	124
4.5	Kontroll av tvärsnittsklass	126
4.6	Kontroll av tvärkraft	127

4.7	Kontroll av nedböjning	128
5	CALFEM-beräkningar för nedböjning i tvärled	129
5.1	Lastfall I	129
5.2	Lastfall II	130
5.3	MatLab-kod för nedböjningsberäkningar	132

1 Parametrar för preliminärdimensionering

1.1 Dimensioner



Figur 1. Tvärsnitt över bron.

Betongbana

Tvärsnittets höjd: $h_c := 0.4\text{m}$

Tvärsnittets bredd: $b_c := 12.5\text{m}$

Kantbalk

Höjd: $h_k := 0.5\text{m}$

Bredd: $b_k := 0.5\text{m}$

Total brobredd

Brokana inkl
kantbalkar: $b_{bro} := b_c + 2 \cdot b_k = 13.5\text{ m}$

Stålkonstruktion

Stålbalkens totalhöjd: $h := 2\text{m}$

Överflänsens bredd: $b_{fö} := 0.55\text{m}$

Överflänsens tjocklek: $t_{fö} := 0.05\text{m}$

Underflänsens bredd:	$b_{fu} := 0.80\text{m}$
Underflänsens tjocklek:	$t_{fu} := 0.06\text{m}$
Livets bredd:	$t_w := 0.03\text{m}$
Livets höjd:	$h_w := h - t_{fö} - t_{fu} = 1.89\text{ m}$
Svetsens a-mått	$a := 0.012\text{m}$
Avstånd svetsar (vertikalled)	$d := h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 1.856\text{ m}$
Överflänsens c-mått	$c_{fö} := \frac{b_{fö} - t_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a}{2} = 0.243\text{ m}$
Underflänsens c-mått	$c_{fu} := \frac{b_{fu} - t_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a}{2} = 0.368\text{ m}$

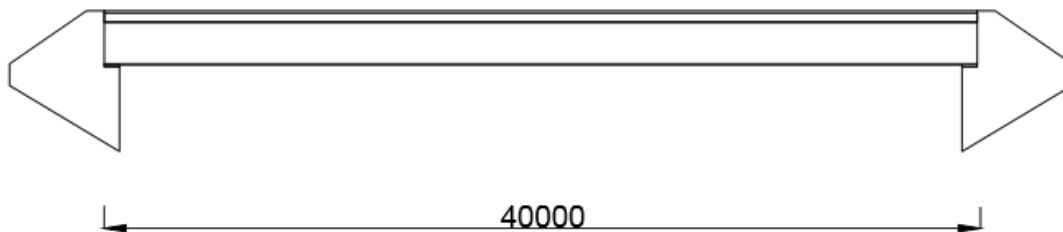
Beläggning

Tjocklek:	$t_{asfalt} := 0.1\text{m}$
Bredd:	$b_{asfalt} := b_c$

Avstånd

Kantbalk till I-balk:	$a_1 := 2.8\text{m}$
I-balk till I-balk:	$a_2 := 6.9\text{m}$

Total brolängd



Figur 2. Bron i längsled.

Total brolängd	$L_{bro} := 40\text{m}$
----------------	-------------------------

1.2 Materialkonstanter

Tungheter

Armerad betong: $\gamma_{\text{abtg}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Asfaltsbeläggning: $\gamma_{\text{asfalt}} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Stål: $\gamma_{\text{stål}} := 77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egentyngder

Broräcke: $g_{\text{räcke}} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Partialkoefficienter

Betong $\gamma_c := 1.5$

Stål $\gamma_{M1,s} := 1.0$

Hållfasthetsvärden

Betong

Karakteristisk tryckhållfasthet: $f_{ck} := 45\text{MPa}$

Draghållfasthet medelvärde: $f_{ctm} := 3.8\text{MPa}$

Stål

Karakteristisk flytgräns: $f_y := 440\text{MPa}$

Armering

Karakteristisk flytgräns: $f_{yk} := 500\text{MPa}$

Elasticitetsmoduler

Betong: $E_{cm} := 36\text{GPa}$

Stål: $E_s := 200\text{GPa}$

1.3 Parametrar tillhörande trafiklast

Tabell 1. Parametrar för lastframtagning.

	Axellast TS	Jämt utbredd fillast UDL	Svenska förhållanden			
	Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m ²)	α_{Qi}	α_{qi}	TS (kN)	UDL (kN/m ²)
Lastfält 1	300	9	0,9	0,7	270	6,3
Lastfält 2	200	2,5	0,9	1,0	180	2,5
Lastfält 3	100	2,5	0	1,0	0	2,5
Övriga	0	2,5	-	1,0	0	2,5
Återstående	0	2,5	-	1,0	0	2,5

Partialkoefficienter

Permanent last: $\gamma_G := 1.35$

Variabel last: $\gamma_Q := 1.5$

Lastreduktionstal

Axellaster:

Kombinationsvärde: $\psi_{0,Q} := 0.75$

Korttidsvärde: $\psi_{1,Q} := 0.75$

Långtidsvärde: $\psi_{2,Q} := 0$

Utbredd trafiklast:

Kombinationsvärde: $\psi_{0,q} := 0.4$

Korttidsvärde: $\psi_{1,q} := 0.4$

Långtidsvärde: $\psi_{2,q} := 0$

Reduktionsfaktor

Reduktionsfaktor för
egenvikten när
trafiklasten är huvudlast $\xi := 0.89$

Anpassningsfaktorer

Lastfält 1 axellast: $\alpha_{Q1} := 0.9$

Lastfält 2 axellast: $\alpha_{Q2} := 0.9$

Lastfält 3 axellast: $\alpha_{Q3} := 0$

Lastfält 1 utbredd fillast: $\alpha_{q1} := 0.7$

Lastfält 2 utbredd fillast: $\alpha_{q2} := 1$

Lastfält 3 utbredd fillast: $\alpha_{q3} := 1$

Karakteristiska trafikklaster

Lastfält 1 axellast $Q_{1k} := 300\text{kN}$

Lastfält 2 axellast: $Q_{2k} := 200\text{kN}$

Lastfält 3 axellast: $Q_{3k} := 100\text{kN}$

Lastfält 1 utbredd fillast: $q_{1k} := 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lastfält 2 utbredd fillast: $q_{2k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lastfält 3 utbredd last: $q_{3k} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

1.4 Brolaster

Dimensionerar för 1 m brett segment i längsgående riktning

$$d_{1m} := 1\text{ m}$$

Egentyngder

Brobanan inklusive
beläggning:
[tvärlängd]

$$g_{\text{brobana}} := \gamma_{\text{abtg}} \cdot (d_{1m} \cdot h_c) + \gamma_{\text{asfalt}} \cdot (t_{\text{asfalt}} \cdot d_{1m}) = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kantbalken inklusive
räcke:
[tvärlängd]

$$g_{\text{kantbalk}} := \gamma_{\text{abtg}} \cdot (d_{1m} \cdot h_k) + g_{\text{räcke}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster

Axellast:

$$P := Q_{1k} \cdot \alpha_{Q1} = 270 \cdot \text{kN}$$

Utbredd fillast:

$$p := q_{1k} \cdot \alpha_{q1} = 6.3 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Punktlast lastfält 1:

$$P_1 := P = 270 \cdot \text{kN}$$

Punktlast lastfält 2:

$$P_2 := 2 \cdot \frac{P}{3} = 180 \cdot \text{kN}$$

Fillast lastfält 1:

$$p_1 := p = 6.3 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Fillast lastfält 2:

$$p_2 := \frac{p}{2.52} = 2.5 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

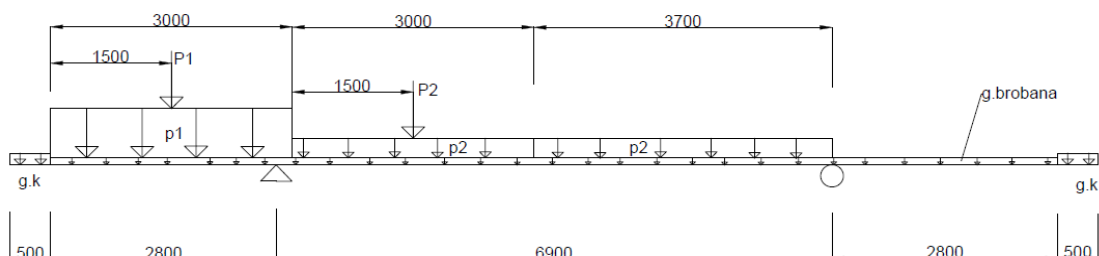
2 Moment- och tvärkraftsberäkningar

För beräkningen av dimensionerande moment i tvär- och längsled används två olika lastfall. I lastfall 1 placeras den största punktlasten och största utbredda trafiklasten vid den vänstra konsolen i tvärled, se Figur 4. I lastfall 2 placeras de största lasterna mitt i fältet mellan längsgående balkar, se Figur 7. Lastfall 1 ger störst stödmoment i tvärled och lastfall 2 ger störst fältmoment.

De lastkombinationerna som används är 6.10b för beräkningar i brottsgränstillstånd och 6.14b, 6.15b samt 6.16b för beräkningar i bruksgränstillstånd. Lastkombinationerna är hämtade från SS-EN 1990.

2.1 Brottsgränstillstånd 6.10a och 6.10b

2.1.1 Lastfall I



Figur 4. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled.

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,I} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,I} := 3\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,I} := 3.7\text{m}$

Dimensionerar egentyngder och trafiklaster för Lastfall 1

Formel 6.10a

Formel: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentyngd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := \gamma_G \cdot g_{\text{brobana}} = 16.605 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentyngd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := \gamma_G \cdot g_{\text{kantbalk}} = 17.55 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{rücke}} \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklast dim

$$P_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_1 = 303.75 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_2 = 202.5 \cdot \text{kN}$$

$$P_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_1 = 3.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_2 = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Formel 6.10b (blir dimensionerande)

Formel: $\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter

$$\gamma_P \cdot P = 0$$

Egentygd dim
tvärlöd:

$$g_{\text{brobana}} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{\text{brobana}} = 14.778 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egentygd dim
längsled:

$$g_{\text{kantbalk}} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{\text{kantbalk}} = 15.62 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{rücke}} \right) \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim: $P_1 := \gamma_Q \cdot P_1 = 405 \cdot \text{kN}$

$$P_2 := \gamma_Q \cdot P_2 = 270 \cdot \text{kN}$$

$$p_1 := \gamma_Q \cdot p_1 = 9.45 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 := \gamma_Q \cdot p_2 = 3.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Eftersom P_1, P_2, p_1 och p_2 alla blir större med formel 6.10b så är det de väderna som vi kommer fortsätta med

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B: $R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) = 0$

$$R_{A,P,I} := \frac{P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right)}{a_2} = 684.783 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{PI} := \frac{R_{A,P,I}}{P_1} = 1.691$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B: $R_{A,p,I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})}{2} \cdot (a_{3,I} + a_{2,I}) \right]}{a_2} = 45.89 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{pI} := \frac{R_{A,p,I}}{p_1} = 4.856 \text{ m}$

För punklaster: $Q_{kI} := 2 \cdot f_{pI} \cdot P_1 = 1.37 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

$$Q_{Ib} := Q_{kI} = 1.37 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kI} := f_{pI} \cdot P_1 \cdot \frac{1}{m} = 45.89 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{Ib} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{bro} + q_{kI} = 158.596 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Läger på en faktor ξ på egenvikten på bron p.g.a att trafiklasten är huvudlasten

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 45.415 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{Ib} + \frac{q_{Ib} \cdot L_{bro}}{2} = 4.541 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott,längsled} := M_{I,max,b} = 45.415 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott,längsled} := V_{I,max,b} = 4.541 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlä

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 337.5 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2}$$

Punklast

Momentjämvikt kring B $R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) = 0$

$$R_{A,P,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \end{array} \right]}{a_2} = 570.652 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B $R_{A,p,I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})}{2} \cdot (a_{3,I} + a_{2,I}) \end{array} \right]}{a_2} = 45.89 \cdot \text{kN}$$

Lastfall I

Reaktionskrafter:

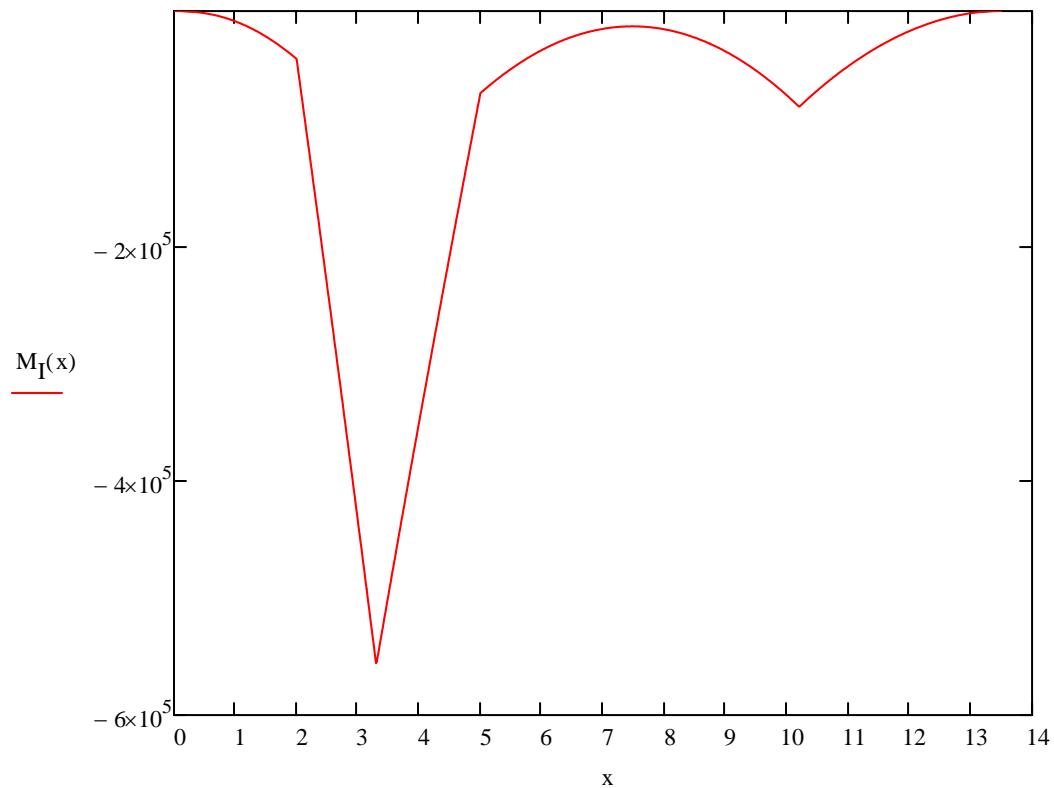
$$R_{A,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \end{array} \right]}{a_2} = 716.717 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,I} := \left[\begin{array}{l} g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + p_1 \cdot a_{1,I} + p_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \dots \\ + (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - R_{A,I} \end{array} \right] = 99.608 \cdot \text{kN}$$

$$M_I(x) := \begin{cases} \left(\frac{x}{2}\right) \cdot \xi_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0m \leq x < 0.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \end{aligned} \right] & \text{if } 0.5m \leq x < 2m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 2m \leq x < 3.3m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \dots \\ & + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] & \text{if } 3.3m \leq x < 3.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \dots \\ & + -P_2 \cdot \frac{(x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} \end{aligned} \right] & \text{if } 3.5m \leq x < 5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \dots \\ & + \frac{-P_2 \cdot (x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} - P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 5m \leq x < 10.2m \end{cases}$$

$$\left[\begin{array}{l}
-b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
+ -a_{1.I} p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\
+ -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
+ -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
+ -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k)
\end{array} \right] \text{ if } 10.2m \leq x < 13m$$

$$\left[\begin{array}{l}
-b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
+ -a_{1.I} p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - b_c \cdot g_{\text{brobana}} \cdot \left(x - b_k - \frac{b_c}{2} \right) \dots \\
+ -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
+ -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
+ -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k) \dots \\
+ -g_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - b_c)^2}{2}
\end{array} \right] \text{ if } 13m \leq x < 13.5m$$



Figur 5. Momentdiagram för lastfall I i tvärlid

Maxmomentet i stöd B

$$M_{BMax} := -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(3.3m - \frac{b_k}{2}\right) - \frac{(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot p_1 \dots$$

$$+ \frac{-(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} - P_1 \cdot \left(3.3m - b_k - \frac{a_{1,I}}{2}\right)$$

$$M_{BMax} = -557.545 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punklasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{ef} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 134.106 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 89.404 \cdot \text{kN}$$

Punklast

Momentjämvikt kring B

$$\left[R_{A,P.I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) \right] = 0$$

$$R_{A,P.I} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) \right]}{a_2} = 226.749 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,p.I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p.I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})}{2} \cdot (a_{3.I} + a_{2.I}) \right]}{a_2} = 45.89 \cdot \text{kN}$$

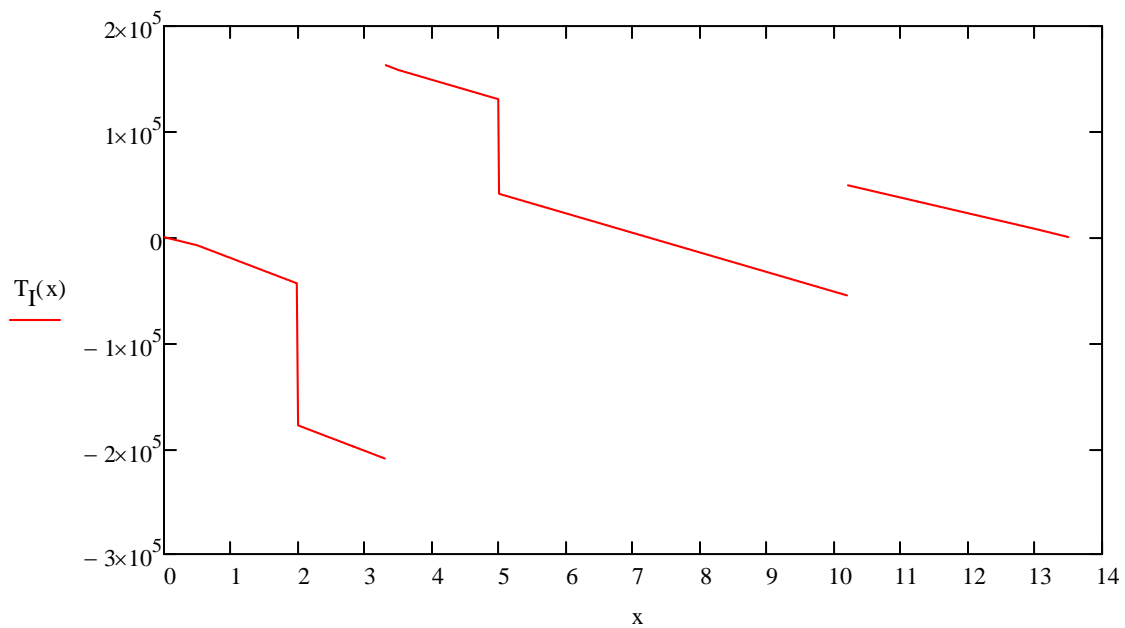
Lastfall I

Reaktionskrafte:

$$R_{A,I} := \frac{\left[\begin{aligned} & b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ & + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ & + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \end{aligned} \right]}{a_2} = 372.814 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,I} := \left[\begin{aligned} & g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + p_1 \cdot a_{1,I} + p_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \dots \\ & + (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - R_{A,I} \end{aligned} \right] = 104.521 \cdot \text{kN}$$

$$T_I(x) := \left[\begin{aligned} & -x \cdot g_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0\text{m} \leq x < 0.5\text{m} \\ & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} & \text{if } 0.5\text{m} \leq x < 2\text{m} \\ & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 & \text{if } 2\text{m} \leq x < 3.3\text{m} \\ & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 + R_{A,I} & \text{if } 3.3\text{m} \leq x < 3.5\text{m} \\ & \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1,I} \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ & + R_{A,I} - [x - (a_{1,I} + b_k)] \cdot p_2 \end{aligned} \right] & \text{if } 3.5\text{m} \leq x < 5\text{m} \\ & \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1,I} \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ & + R_{A,I} - [x - (a_{1,I} + b_k)] \cdot p_2 - P_2 \end{aligned} \right] & \text{if } 5\text{m} \leq x < 10.2\text{m} \\ & \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1,I} \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ & + R_{A,I} - (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot p_2 - P_2 + R_{B,I} \end{aligned} \right] & \text{if } 10.2\text{m} \leq x < 13\text{m} \\ & \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1,I} \cdot p_1 - (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ & + R_{A,I} - (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot p_2 - P_2 \dots \\ & + R_{B,I} - g_{\text{kantbalk}} \cdot (x - b_k - b_c) \end{aligned} \right] & \text{if } 13\text{m} \leq x < 13.5\text{m} \end{aligned} \right]$$



Figur 6. Tvärkraftsdiagram för lastfall I i tvärled.

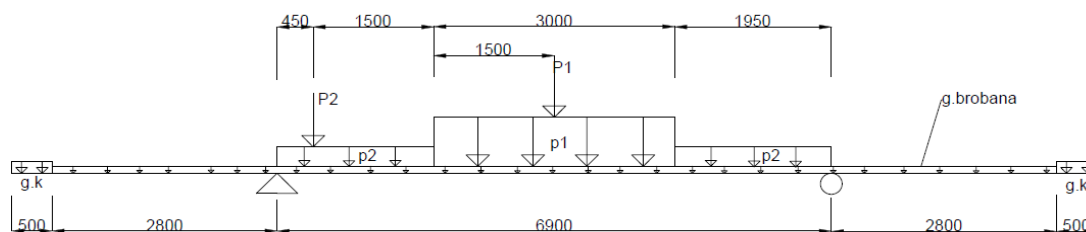
Tvärkraft vänster om stöd:

$$V_{Ed3.3mV} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 = -209.755 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 + R_{A,I} = 163.059 \cdot kN$$

2.1.2 Lastfall II



Figur 7. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1.II} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2.II} := 1.95\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3.II} := 1.95\text{m}$

Avstånd mellan P_2 och stöd: $a_{4.II} := 0.45\text{m}$

Dimensionerar egentyngder och trafiklaster för Lastfall 2

Formel 6.10a

Formel: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter: $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentyngd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := \gamma_G \cdot g_{\text{brobana}} = 16.605 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentyngd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := \gamma_G \cdot g_{\text{kantbalk}} = 17.55 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{bro} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{abtg} + (b_{fö} \cdot t_{fö} + b_{fu} \cdot t_{fu} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{stål} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{asfalt} \cdot \frac{b_{asfalt}}{2} \cdot \gamma_{asfalt} + g_{rücke} \right) \right]$$

$$g_{bro} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim

$$P_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_1 = 303.75 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_2 = 202.5 \cdot \text{kN}$$

$$p_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_1 = 3.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_2 = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Formel 6.10b (blir dimensionerande)

Formel

$$\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_P \cdot P + \gamma_Q \cdot Q_k$$

Pga att vi inte har några spännkrafter

$$\gamma_P \cdot P = 0$$

Egentygd dim tvärlöd:

$$g_{brobana} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{brobana} = 14.778 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Egentygd dim längsled

$$g_{kantbalk} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{kantbalk} = 15.62 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{bro} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{abtg} + (b_{fö} \cdot t_{fö} + b_{fu} \cdot t_{fu} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{stål} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{asfalt} \cdot \frac{b_{asfalt}}{2} \cdot \gamma_{asfalt} + g_{rücke} \right) \right]$$

$$g_{bro} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim

$$P_1 := \gamma_Q \cdot P_1 = 405 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \gamma_Q \cdot P_2 = 270 \cdot \text{kN}$$

$$p_1 := \gamma_Q \cdot p_1 = 9.45 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 := \gamma_Q \cdot p_2 = 3.75 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Eftersom P_1, P_2, p_1 och p_2 alla blir större med formel 6.10b så är det de värderna som vi kommer fortsätta med

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,P,II} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) - P_2 \cdot (a_{3,II} + a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II}) = 0$$

$$R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) + P_2 \cdot (a_{3,II} + a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II}) \right]}{a_2} = 454.891 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor:

$$f_{P,II} := \frac{R_{A,P,II}}{P_1} = 1.123$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$\left[R_{A,p,II} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + -p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_2 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right] = 0$$

$$R_{A,p,II} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_2 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) + p_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2} = 21.488 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{pII} := \frac{R_{A,p.II}}{P_1} = 2.274 \text{ m}$

För punklaster: $Q_{kII} := 2 \cdot f_{pII} \cdot P_1 = 909.783 \cdot \text{kN}$

$$Q_{IIb} := Q_{kII} = 909.783 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kII} := f_{pII} \cdot P_1 \cdot \frac{1}{m} = 21.488 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{IIb} := \xi \cdot \gamma_G \cdot g_{bro} + q_{kII} = 134.193 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Läger på en faktor ξ på egenvikten på bron p.g.a att trafiklasten är huvudlasten

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 35.937 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{IIb} + \frac{q_{IIb} \cdot L_{bro}}{2} = 3.594 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott,längsled} := M_{I,max,b} = 35.937 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott,längsled} := V_{I,max,b} = 3.594 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlöd

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 337.5 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2} = 225 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

Reaktionskraft

$$R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,II} = 361.96 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

Reaktionskraft

$$R_{A,p,II} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,II} = 21.488 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafter

$$R_{A,II} := \frac{\left[P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + \left(a_2 + 2 \cdot a_1 \right) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{\text{brobana}} \dots \right. \\ \left. + g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 500.739 \cdot \text{kN}$$

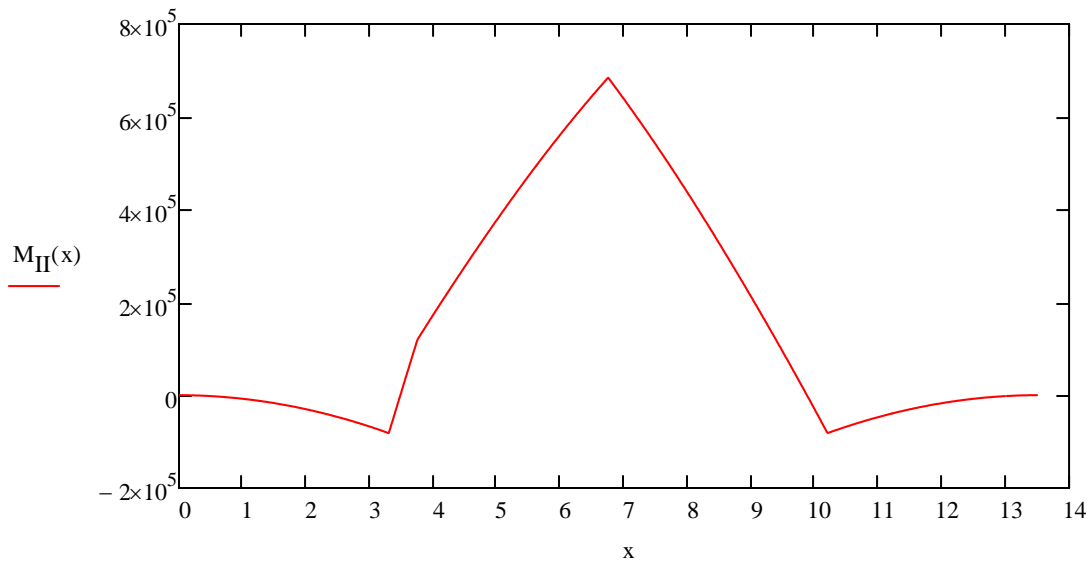
$$R_{B,II} := p_2 \cdot a_{3,II} + p_1 \cdot a_{1,II} + p_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 305.086 \cdot \text{kN}$$

$$M_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ + g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.3\text{m} < x < 3.75\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.75\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ &+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2}\right) \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ &+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ &+ p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II})^2}{2} \end{aligned} \right] \end{cases}$$

$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2,II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A,II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ & + p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II})^2}{2} \dots \\ & + P_1 \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \end{aligned}$	if $6.75\text{m} < x < 8.25\text{m}$
$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2,II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A,II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - a_{1,II})^2}{2} \dots \end{aligned}$	if $8.25\text{m} < x < 10.2\text{m}$
$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2,II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A,II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2,II} \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{B,II} (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \end{aligned}$	if $10.2\text{m} < x < 13\text{m}$

$$\left[\begin{aligned}
 & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
 & + \xi_{\text{brobana}} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
 & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\
 & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{B,II} \cdot (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \\
 & + \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2)^2}{2}
 \end{aligned} \right] \quad \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m}$$



Figur 8. Momentdiagram för lastfall II i tvärd.

Maximalt fältmoment:

$$M_{\text{Max.fält}} := \left[\begin{aligned} &g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(6.75\text{m} - \frac{b_k}{2}\right) + g_{\text{brobana}} \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ P_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(6.75 \cdot \text{m} - b_k - a_1 - \frac{a_{2,\text{II}}}{2}\right) \dots \\ &+ P_2 \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{4,\text{II}}) - R_{A,\text{II}} \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1) \dots \\ &+ P_1 \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{2,\text{II}})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

$$M_{\text{Max.fält}} = 684.414 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{\text{ef}} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 134.106 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 89.404 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

$$\text{Reaktionskraft} \quad R_{A,P,\text{II}} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,\text{II}} = 143.82 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$\text{Reaktionskraft} \quad R_{A,p,\text{II}} := \frac{\left[\begin{aligned} &P_1 \cdot a_{1,\text{II}} \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \dots \\ &+ P_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,\text{II}}^2}{2} \end{aligned} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p.II} = 21.488 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafte

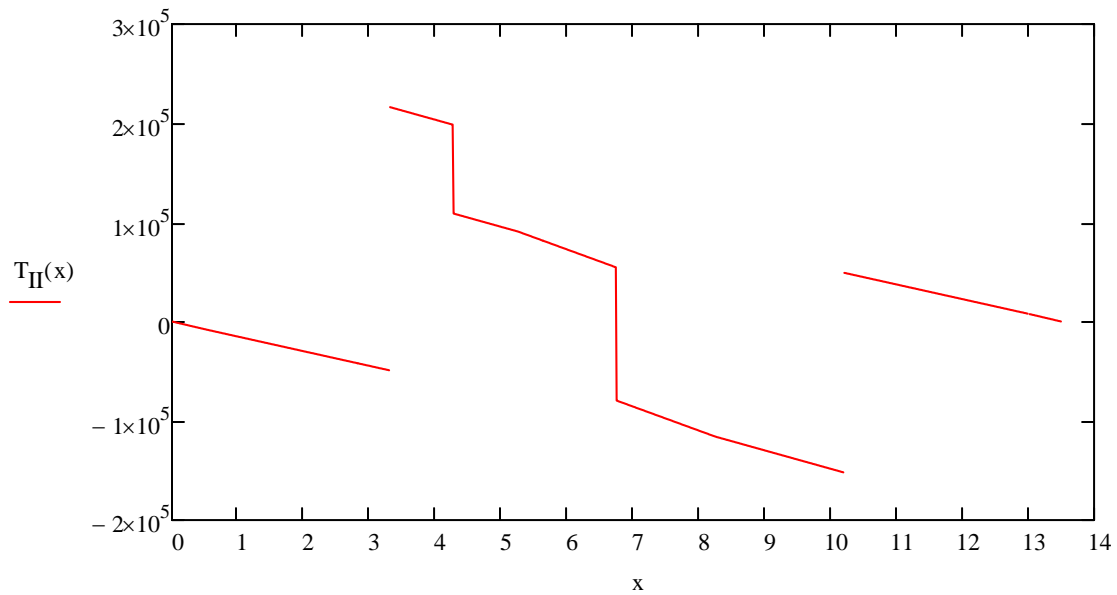
$$R_{A.II} := \frac{\left[\begin{aligned} & p_2 \cdot \frac{a_{3.II}^2}{2} + p_1 \cdot a_{1.II} \cdot \left(\frac{a_{1.II}}{2} + a_{3.II} \right) + p_2 \cdot a_{2.II} \cdot \left(a_{1.II} + \frac{a_{2.II}}{2} + a_{3.II} \right) \dots \\ & + p_1 \cdot \left(\frac{a_{1.II}}{2} + a_{3.II} \right) + p_2 \cdot \left(a_{1.II} + \frac{a_{2.II}}{2} + a_{3.II} \right) \dots \\ & + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot \left(\frac{a_{1.II}}{2} + a_{3.II} \right) \cdot g_{brobana} \dots \\ & + g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \end{aligned} \right]}{a_2}$$

$$R_{A.II} = 265.486 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B.II} := p_2 \cdot a_{3.II} + p_1 \cdot a_{1.II} + p_2 \cdot a_{2.II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A.II}$$

$$R_{B.II} = 201.349 \cdot \text{kN}$$

$$T_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot x & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (x - b_k) & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} \end{array} \right] & \text{if } 3.3\text{m} < x < 4.275\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} + P_2 \end{array} \right] & \text{if } 4.275\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) \end{array} \right] & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) + P_1 \end{array} \right] & \text{if } 6.75\text{m} < x < 8.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II}) \end{array} \right] & \text{if } 8.25\text{m} < x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \end{array} \right] & \text{if } 10.2\text{m} < x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \dots \\ + g_{kantbalk} \cdot (x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2) \end{array} \right] & \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m} \end{cases}$$



Figur 9. Tvärkraftsdiagram för lastfall II i tvärled.

Tvärkraft vänster om stöd:

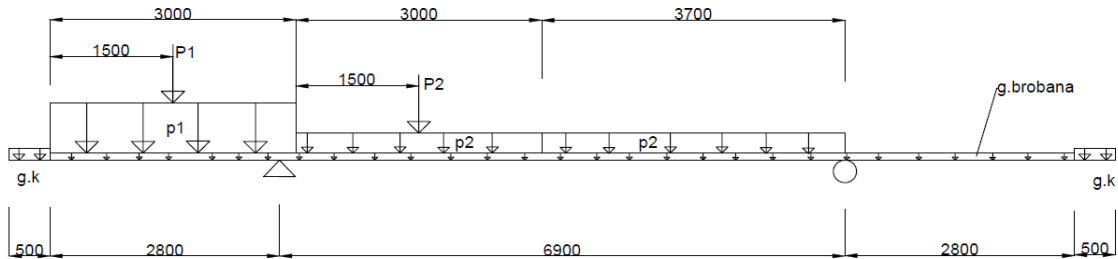
$$V_{Ed3.3mV} := -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) = -49.189 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -[g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) + p_2 \cdot (3.3m - b_k - a_1) - R_{A,II}] = 216.297 \cdot kN$$

2.2 Bruksgränstillstånd 6.14b

2.2.1 Lastfall I



Figur 10. Trafiklaster och egentygder som verkar i tvärled.

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,I} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,I} := 3\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,I} := 3.7\text{m}$

Dimensionerar egentygder och trafiklaster för Lastfall 1

Formel 6.14b

Formel: $G_k + P + Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentygd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentygd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{fö} \cdot t_{fö} + b_{fu} \cdot t_{fu} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{räcke}} \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim

$$P_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_1 = 303.75 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.Q} P_2 = 202.5 \cdot \text{kN}$$

$$p_{1.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_1 = 3.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{2.a} := \gamma_Q \cdot \psi_{0.q} p_2 = 1.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B:

$$R_{A.P.I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) = 0$$

$$R_{A.P.I} := \frac{P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right)}{a_2} = 456.522 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor:

$$f_{PI} := \frac{R_{A.P.I}}{P_1} = 1.691$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B:

$$R_{A.p.I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p.I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots + p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})}{2} \cdot (a_{3.I} + a_{2.I}) \right]}{a_2} = 30.593 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{pI} := \frac{R_{A,p.I}}{p_1} = 4.856 \text{ m}$

För punklaster: $Q_{kI} := 2 \cdot f_{pI} \cdot P_1 = 913.043 \cdot \text{kN}$

$$Q_{Ib} := Q_{kI} = 913.043 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kI} := f_{pI} \cdot P_1 \cdot \frac{1}{m} = 30.593 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{Ib} := g_{bro} + q_{kI} = 124.398 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 34.01 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{Ib} + \frac{q_{Ib} \cdot L_{bro}}{2} = 3.401 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott.längsled} := M_{I,max,b} = 34.01 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott.längsled} := V_{I,max,b} = 3.401 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlöd

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 225 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2}$$

Punktlast

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) = 0$$

$$R_{A,P,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \end{array} \right]}{a_2} = 380.435 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,p,I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})}{2} \cdot (a_{3,I} + a_{2,I}) \end{array} \right]}{a_2} = 30.593 \text{kN}$$

Lastfall I

Reaktionskrafter:

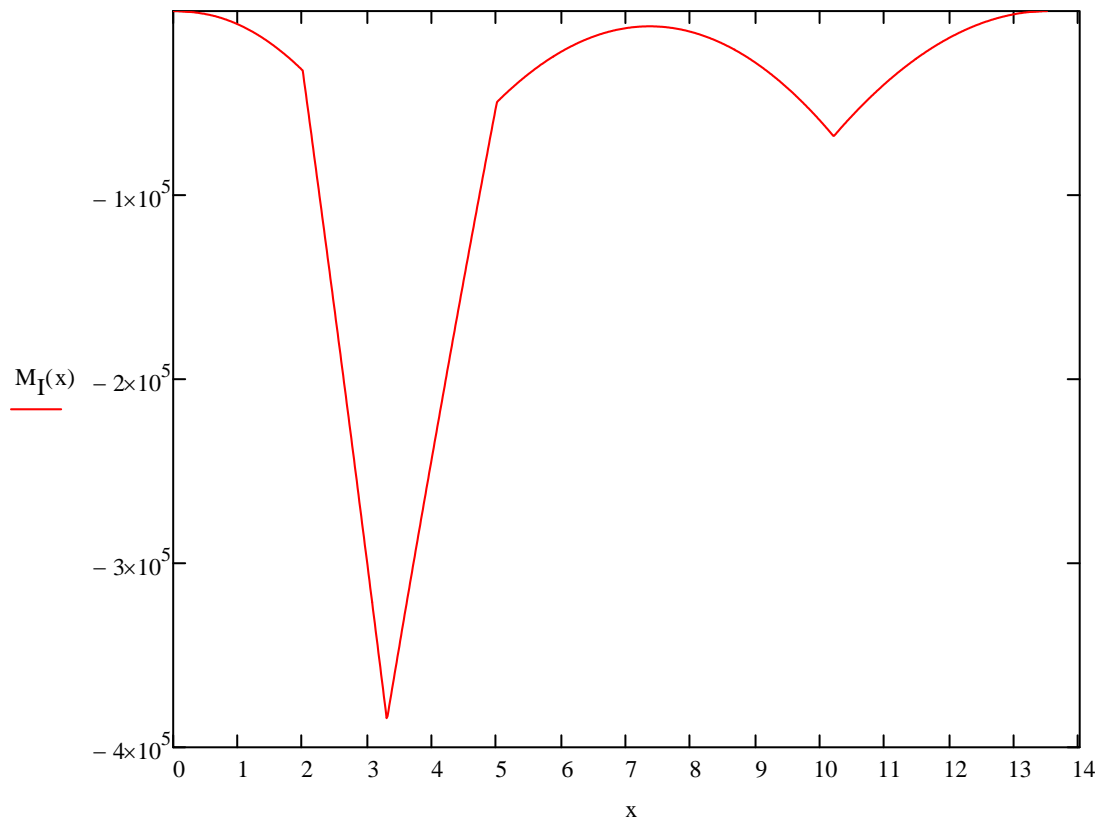
$$R_{A,I} := \frac{\left[b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot p_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \right.}{a_2} = 494.403 \cdot \text{kN}$$
$$\left. + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{brobana} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{kantbalk} \right]$$

$$R_{B,I} := \left[g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + p_1 \cdot a_{1,I} + p_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \dots \right] = 82.997 \cdot \text{kN}$$
$$\left[+ (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{brobana} - R_{A,I} \right]$$

$$M_I(x) := \begin{cases} -\left(\frac{x^2}{2}\right) \cdot g_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0m \leq x < 0.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \end{aligned} \right] & \text{if } 0.5m \leq x < 2m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 2m \leq x < 3.3m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \\ & + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] & \text{if } 3.3m \leq x < 3.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} \cdot P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + -P_2 \cdot \frac{(x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} \end{aligned} \right] & \text{if } 3.5m \leq x < 5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} \cdot P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + \frac{-P_2 \cdot (x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} - P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 5m \leq x < 10.2m \end{cases}$$

$$\left[\begin{aligned}
& -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
& + -a_{1,I} p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1,I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\
& + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1,I}}{2} \right) + R_{A,I} (x - b_k - a_1) \dots \\
& + -P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1,I} - \frac{a_{2,I} + a_{3,I}}{2} \right) \dots \\
& + -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1,I} - \frac{a_{2,I}}{2} \right) + R_{B,I} (x - a_1 - a_2 - b_k)
\end{aligned} \right] \text{ if } 10.2\text{m} \leq x < 13\text{m}$$

$$\left[\begin{aligned}
& -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
& + -a_{1,I} p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1,I}}{2} \right) - b_c \cdot g_{\text{brobana}} \cdot \left(x - b_k - \frac{b_c}{2} \right) \dots \\
& + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1,I}}{2} \right) + R_{A,I} (x - b_k - a_1) \dots \\
& + -P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1,I} - \frac{a_{2,I} + a_{3,I}}{2} \right) \dots \\
& + -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1,I} - \frac{a_{2,I}}{2} \right) + R_{B,I} (x - a_1 - a_2 - b_k) \dots \\
& + -g_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - b_c)^2}{2}
\end{aligned} \right] \text{ if } 13\text{m} \leq x < 13.5\text{m}$$



Figur 11. Momentdiagram för lastfall I i tvärled

Maxmomentet i stöd B

$$M_{BMax} := -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(3.3m - \frac{b_k}{2}\right) - \frac{(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot P_1 \dots$$

$$+ \frac{-(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} - P_1 \cdot \left(3.3m - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right)$$

$$M_{BMax} = -385.237 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{ef} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 89.404 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 59.603 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

Momentjämvikt kring B

$$\left[R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \right] = 0$$

$$R_{A,P,I} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \right]}{a_2} = 151.166 \cdot$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,p,I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} \right]}{a_2} = 30.593 \cdot \text{kN}$$

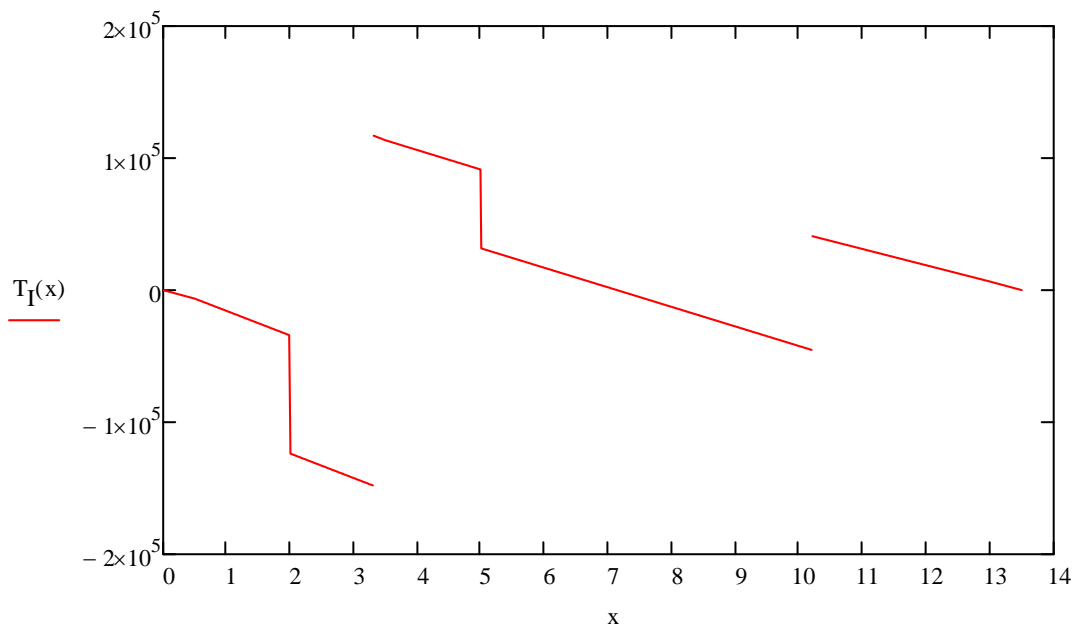
Lastfall I

Reaktionskrafter:

$$R_{A,I} := \frac{\left[b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot p_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{brobana} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{kantbalk} \right]}{a_2} = 265.134 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B.I} := \left[\begin{array}{l} \xi_{kantbalk} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + p_1 \cdot a_{1.I} + p_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \dots \\ + (a_1 + a_2 + a_1) \cdot \xi_{brobana} - R_{A.I} \end{array} \right] = 86.272 \cdot \text{kN}$$

$$T_I(x) := \left[\begin{array}{l} -x \cdot \xi_{kantbalk} \quad \text{if } 0\text{m} \leq x < 0.5\text{m} \\ -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} \quad \text{if } 0.5\text{m} \leq x < 2\text{m} \\ -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} - P_1 \quad \text{if } 2\text{m} \leq x < 3.3\text{m} \\ -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} - P_1 + R_{A.I} \quad \text{if } 3.3\text{m} \leq x < 3.5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - a_{1.I} P_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - [x - (a_{1.I} + b_k)] \cdot p_2 \end{array} \right] \quad \text{if } 3.5\text{m} \leq x < 5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - a_{1.I} P_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - [x - (a_{1.I} + b_k)] \cdot p_2 - P_2 \end{array} \right] \quad \text{if } 5\text{m} \leq x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - a_{1.I} P_1 - (x - b_k) \cdot \xi_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot p_2 - P_2 + R_{B.I} \end{array} \right] \quad \text{if } 10.2\text{m} \leq x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot \xi_{kantbalk} - a_{1.I} P_1 - (a_1 + a_2 + a_1) \cdot \xi_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot p_2 - P_2 \dots \\ + R_{B.I} - \xi_{kantbalk} \cdot (x - b_k - b_c) \end{array} \right] \quad \text{if } 13\text{m} \leq x < 13.5\text{m} \end{array} \right]$$

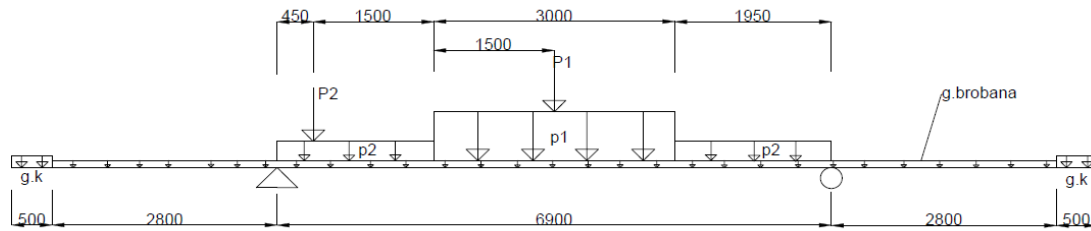


Figur 12. Tvärkraftsdiagram för lastfall I i tvärlid.

$$V_{Ed3.3mV} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 = -147.984 \cdot kN$$

$$V_{Ed3.3mH} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 + R_{A,I} = 117.15 \cdot kN$$

2.2.2 Lastfall II



Figur 13. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,II} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,II} := 1.95\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,II} := 1.95\text{m}$

Avstånd mellan P_2 och stöd: $a_{4,II} := 0.45\text{m}$

Dimensionerar egentyngder och trafiklaster för Lastfall 2

Formel 6.10a

Formel: $G_k + P + Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter: $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentyngd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentyngd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{rücke}} \right) \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim

$$P_{1.a} := P_1 = 270 \cdot \text{kN}$$

$$P_{2.a} := P_2 = 180 \cdot \text{kN}$$

$$p_{1.a} := p_1 = 6.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_{2.a} := p_2 = 2.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B

$$R_{A.P.II} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3.II} + \frac{a_{1.II}}{2} \right) - P_2 \cdot (a_{3.II} + a_{1.II} + a_{2.II} - a_{4.II}) = 0$$

$$R_{A.P.II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3.II} + \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot (a_{3.II} + a_{1.II} + a_{2.II} - a_{4.II}) \right]}{a_2} = 303.261 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor:

$$f_{PII} := \frac{R_{A.P.II}}{P_1} = 1.123$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$\left[R_{A.p.II} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1.II} \cdot \left(a_{3.II} + \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + -p_2 \cdot a_{2.II} \cdot \left(a_2 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{a_{3.II}^2}{2} \right] = 0$$

$$R_{A,p,II} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1,II} \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots + p_2 \cdot a_{2,II} \left(a_2 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) + p_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2} = 14.325 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{pII} := \frac{R_{A,p,II}}{p_1} = 2.274 \text{ m}$

För punklaster: $Q_{kII} := 2 \cdot f_{pII} \cdot p_1 = 606.522 \cdot \text{kN}$

$$Q_{IIb} := Q_{kII} = 606.522 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kII} := f_{pII} \cdot p_1 \cdot \frac{1}{m} = 14.325 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{IIb} := g_{bro} + q_{kII} = 108.129 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 27.691 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{IIb} + \frac{q_{IIb} \cdot L_{bro}}{2} = 2.769 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott,längsled} := M_{I,max,b} = 27.691 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott,längsled} := V_{I,max,b} = 2.769 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlöd

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 225 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2} = 150 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

Reaktionskraft

$$R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,II} = 241.3 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

Reaktionskraft

$$R_{A,p,II} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,II} = 14.325 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafter

$$R_{A,II} := \frac{\left[P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + \left(a_2 + 2 \cdot a_1 \right) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{\text{brobana}} \dots \right. \\ \left. + g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 350.417 \cdot \text{kN}$$

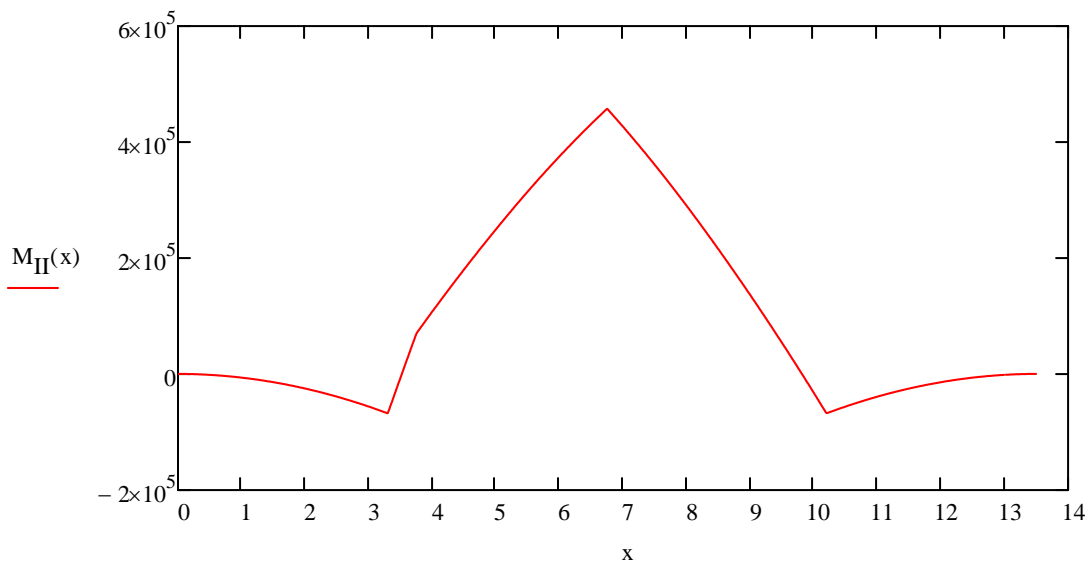
$$R_{B,II} := p_2 \cdot a_{3,II} + p_1 \cdot a_{1,II} + p_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 219.983 \cdot \text{kN}$$

$$M_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ + g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.3\text{m} < x < 3.75\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.75\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ &+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} &g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ &+ g_{brobana} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2}\right) \dots \\ &+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ &+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ &+ p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II})^2}{2} \end{aligned} \right] \end{cases}$$

$ \begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II})^2}{2} \dots \\ & + P_1 \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \end{aligned} $	if $6.75\text{m} < x < 8.25\text{m}$
$ \begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II})^2}{2} \end{aligned} $	if $8.25\text{m} < x < 10.2\text{m}$
$ \begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{B.II} (x - b_k - a_1 - a_2) \end{aligned} $	if $10.2\text{m} < x < 13\text{m}$

$$\left[\begin{aligned}
 & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
 & + \xi_{\text{brobana}} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
 & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\
 & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{B,II} \cdot (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \\
 & + \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2)^2}{2}
 \end{aligned} \right] \quad \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m}$$



Figur 14. Momentdiagram för lastfall II i tvärlid.

Maximalt fältmoment:

$$M_{\text{Max.fält}} := \left[\begin{aligned} &g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(6.75\text{m} - \frac{b_k}{2} \right) + g_{\text{brobana}} \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(6.75 \cdot \text{m} - b_k - a_1 - \frac{a_{2,\text{II}}}{2} \right) \dots \\ &+ P_2 \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{4,\text{II}}) - R_{A,\text{II}} \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1) \dots \\ &+ P_1 \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{2,\text{II}})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

$$M_{\text{Max.fält}} = 457.303 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{\text{ef}} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 89.404 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 59.603 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,P,\text{II}} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,\text{II}} = 95.88 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,p,\text{II}} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,\text{II}} \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,\text{II}}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,\text{II}} = 14.325 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafte

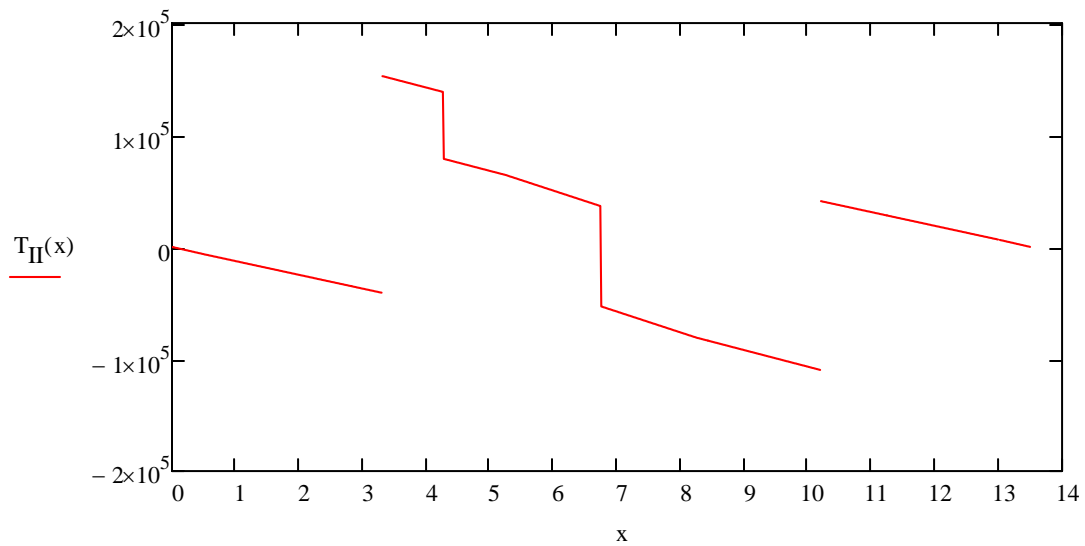
$$R_{A,II} := \frac{\left[\begin{aligned} &P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \\ &+ P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \\ &+ (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{brobana} \dots \\ &+ g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \end{aligned} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 193.583 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,II} := P_2 \cdot a_{3,II} + P_1 \cdot a_{1,II} + P_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 150.824 \cdot \text{kN}$$

$$T_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot x & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (x - b_k) & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} \end{array} \right] & \text{if } 3.3\text{m} < x < 4.275\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} + P_2 \end{array} \right] & \text{if } 4.275\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) \end{array} \right] & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) + P_1 \end{array} \right] & \text{if } 6.75\text{m} < x < 8.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II}) \end{array} \right] & \text{if } 8.25\text{m} < x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \end{array} \right] & \text{if } 10.2\text{m} < x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \dots \\ + g_{kantbalk} \cdot (x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2) \end{array} \right] & \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m} \end{cases}$$



Figur 15. Tvärkraftsdiagram för lastfall II i tvärled.

Tvärkraft vänster om stöd:

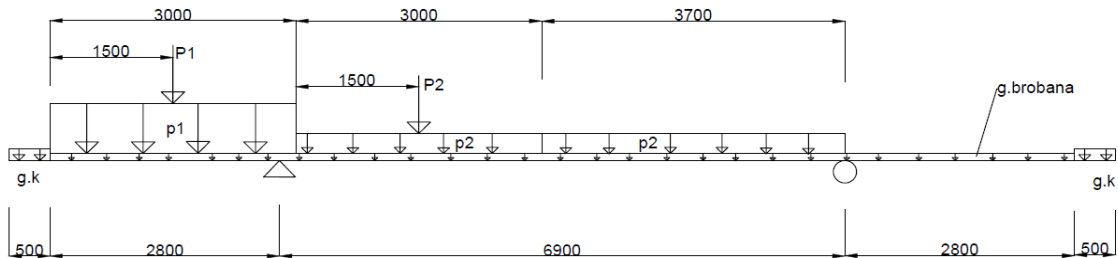
$$V_{Ed3.3mV} := -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) = -40.94 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -[g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) + p_2 \cdot (3.3m - b_k - a_1) - R_{A,II}] = 152.643 \cdot kN$$

2.3 Bruksgränstillstånd 6.15b

2.3.1 Lastfall I



Figur 16. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled.

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,I} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,I} := 3\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,I} := 3.7\text{m}$

Formel 6.15b

Formel: $G_k + P + \psi \cdot Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentyngd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentyngd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abt}} + (b_{fö} \cdot t_{fö} + b_{fu} \cdot t_{fu} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{räcke}} \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim

$$P_1 := \psi_{0,Q} P_1 = 202.5 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \psi_{0,Q} P_2 = 135 \cdot \text{kN}$$

$$p_1 := \psi_{0,q} p_1 = 2.52 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 := \psi_{0,q} p_2 = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B:

$$R_{A,P.I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) = 0$$

$$R_{A,P.I} := \frac{P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right)}{a_2} = 342.391 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor:

$$f_{PI} := \frac{R_{A,P.I}}{P_1} = 1.691$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B:

$$R_{A,p.I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p.I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + p_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})}{2} \cdot (a_{3.I} + a_{2.I}) \right]}{a_2} = 12.237 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor:

$$f_{pI} := \frac{R_{A,p.I}}{p_1} = 4.856 \text{ m}$$

För punklaster: $Q_{kI} := 2 \cdot f_{pI} \cdot P_1 = 684.783 \cdot \text{kN}$

$$Q_{Ib} := Q_{kI} = 684.783 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kI} := f_{pI} \cdot P_1 \cdot \frac{1}{m} = 12.237 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{Ib} := g_{bro} + q_{kI} = 106.042 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 28.056 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{Ib} + \frac{q_{Ib} \cdot L_{bro}}{2} = 2.806 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott,längsled} := M_{I,max,b} = 28.056 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott,längsled} := V_{I,max,b} = 2.806 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlid

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 168.75 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2}$$

Punklast

Momentjämvikt kring B $R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) = 0$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \end{array} \right]}{a_2} = 285.326 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,p,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} P_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + P_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})}{2} \cdot (a_{3,I} + a_{2,I}) \end{array} \right]}{a_2} = 12.237 \cdot \text{kN}$$

Lastfall I

Reaktionskrafter:

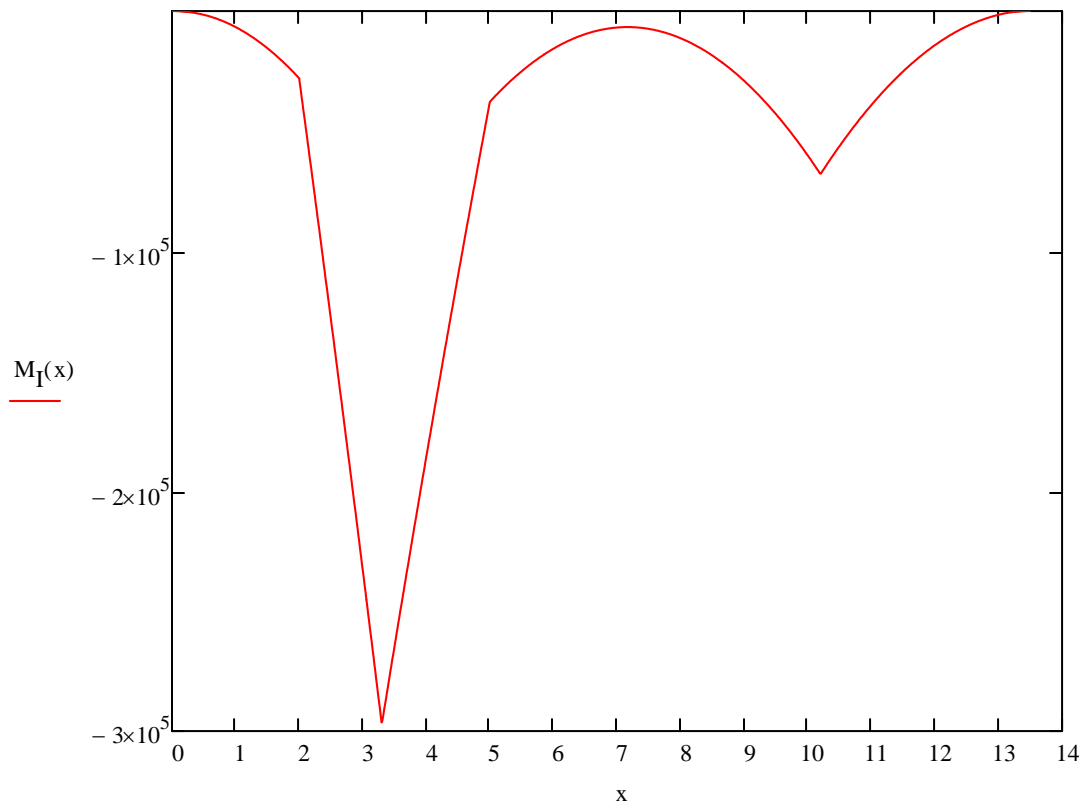
$$R_{A,I} := \frac{\left[\begin{array}{l} b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) \dots \\ + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \end{array} \right]}{a_2} = 380.938 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,I} := \left[\begin{array}{l} g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + P_1 \cdot a_{1,I} + P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \dots \\ + (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - R_{A,I} \end{array} \right] = 81.322 \cdot \text{kN}$$

$$M_I(x) := \begin{cases} \left[\frac{x^2}{2} \right] \cdot g_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0\text{m} \leq x < 0.5\text{m} \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \end{aligned} \right] & \text{if } 0.5\text{m} \leq x < 2\text{m} \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) \end{aligned} \right] & \text{if } 2\text{m} \leq x < 3.3\text{m} \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot p_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \\ & + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] & \text{if } 3.3\text{m} \leq x < 3.5\text{m} \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + -a_{1.I} \cdot p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + -p_2 \cdot \frac{(x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} \end{aligned} \right] & \text{if } 3.5\text{m} \leq x < 5\text{m} \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + -a_{1.I} \cdot p_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + \frac{-p_2 \cdot (x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} - P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) \end{aligned} \right] & \text{if } 5\text{m} \leq x < 10.2\text{m} \end{cases}$$

$$\left[\begin{aligned}
& -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
& + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} \dots \\
& + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
& + -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
& + -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k)
\end{aligned} \right] \text{ if } 10.2m \leq x < 13m$$

$$\left[\begin{aligned}
& -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
& + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - b_c \cdot g_{brobana} \cdot \left(x - b_k - \frac{b_c}{2} \right) \dots \\
& + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
& + -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
& + -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k) \dots \\
& + -g_{kantbalk} \cdot \frac{(x - b_k - b_c)^2}{2}
\end{aligned} \right] \text{ if } 13m \leq x < 13.5m$$



Figur 17. Momentdiagram för lastfall I i tvärlöd

Maxmomentet i stöd B

$$M_{BMax} := -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(3.3m - \frac{b_k}{2}\right) - \frac{(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot p_1 \dots$$

$$+ \frac{-(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} - P_1 \cdot \left(3.3m - b_k - \frac{a_{1,I}}{2}\right)$$

$$M_{BMax} = -297.294 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{ef} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 67.053 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{ef}} = 44.702 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

Momentjämvikt kring B $\left[R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \right] = 0$

$$R_{A,P,I} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) \right]}{a_2} = 113.375 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B $R_{A,p,I} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})^2}{2} = 0$

$$R_{A,p,I} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1,I} \cdot \left(a_{3,I} + a_{2,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + p_2 \cdot \frac{(a_{3,I} + a_{2,I})}{2} \cdot (a_{3,I} + a_{2,I}) \right]}{a_2} = 12.237 \cdot \text{kN}$$

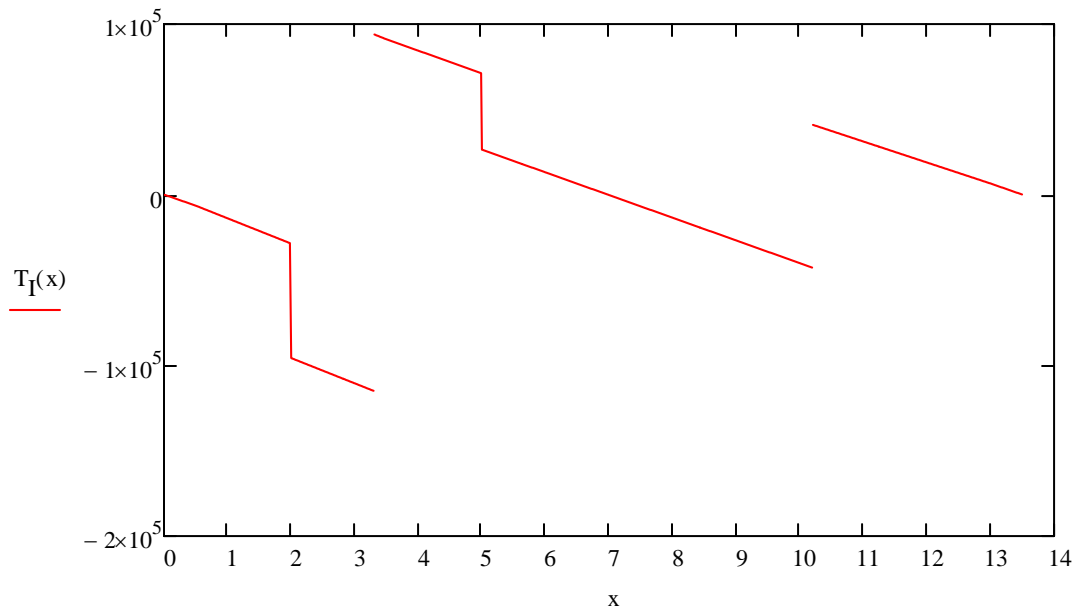
Lastfall I

Reaktionskrafter:

$$R_{A,I} := \frac{\left[b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1,I} \cdot P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} + P_1 \cdot \left(a_{2,I} + a_{3,I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) + \frac{P_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3,I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \right]}{a_2} = 208.987 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,I} := \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + p_1 \cdot a_{1,I} + p_2 \cdot (a_{2,I} + a_{3,I}) \dots \\ + (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{brobana} - R_{A,I} \end{array} \right] = 83.778 \cdot \text{kN}$$

$$T_I(x) := \left[\begin{array}{l} -x \cdot g_{kantbalk} \quad \text{if } 0\text{m} \leq x < 0.5\text{m} \\ -b_k \cdot g_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} \quad \text{if } 0.5\text{m} \leq x < 2\text{m} \\ -b_k \cdot g_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 \quad \text{if } 2\text{m} \leq x < 3.3\text{m} \\ -b_k \cdot g_{kantbalk} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 + R_{A,I} \quad \text{if } 3.3\text{m} \leq x < 3.5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{kantbalk} - a_{1,I} P_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A,I} - [x - (a_{1,I} + b_k)] \cdot p_2 \end{array} \right] \quad \text{if } 3.5\text{m} \leq x < 5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{kantbalk} - a_{1,I} P_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A,I} - [x - (a_{1,I} + b_k)] \cdot p_2 - P_2 \end{array} \right] \quad \text{if } 5\text{m} \leq x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{kantbalk} - a_{1,I} P_1 - (x - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A,I} - (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot p_2 - P_2 + R_{B,I} \end{array} \right] \quad \text{if } 10.2\text{m} \leq x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{kantbalk} - a_{1,I} P_1 - (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{brobana} - P_1 \dots \\ + R_{A,I} - (a_{2,I} + a_{3,I}) \cdot p_2 - P_2 \dots \\ + R_{B,I} - g_{kantbalk} \cdot (x - b_k - b_c) \end{array} \right] \quad \text{if } 13\text{m} \leq x < 13.5\text{m} \end{array} \right]$$



Figur 18. Tvärkraftsdiagram för lastfall I i tvärled.

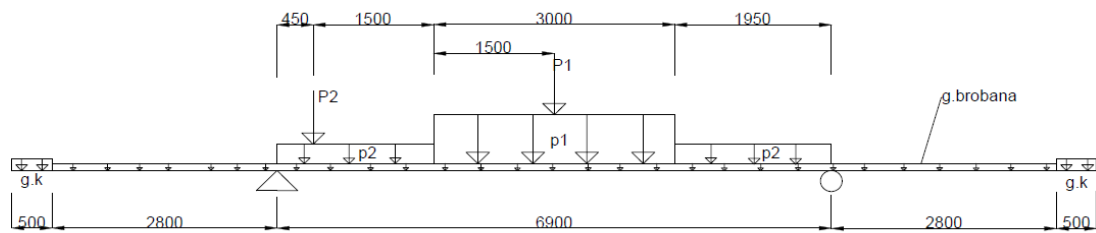
Tvärkraft vänster om stöd:

$$V_{Ed3.3mV} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 = -115.049 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -b_k \cdot g_{kantbalk} - (3.3m - b_k) \cdot p_1 - (3.3m - b_k) \cdot g_{brobana} - P_1 + R_{A,I} = 93.938 \cdot kN$$

2.3.2 Lastfall II



Figur 19. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,II} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,II} := 1.95\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,II} := 1.95\text{m}$

Avstånd mellan P_2 och stöd: $a_{4,II} := 0.45\text{m}$

Dimensionerar egentyngder och trafiklaster för Lastfall 2

Formel 6.15b

Formel: $G_k + P + \psi \cdot Q_k$

Pga att vi inte har några spännkrafter: $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentygd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentygd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abt}} + (b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{räcke}} \right) \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim $P_1 := \psi_{1,Q} \cdot P_1 = 202.5 \cdot \text{kN}$

$$P_2 := \psi_{1,Q} \cdot P_2 = 135 \cdot \text{kN}$$

$$p_1 := \psi_{1,q} \cdot p_1 = 2.52 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 := \psi_{1,q} \cdot p_2 = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Moment och tvärkraft längsled

Punklast

Momentjämvikt kring B $R_{A,P,II} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) - P_2 \cdot (a_{3,II} + a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II}) = 0$

$$R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot (a_{3,II} + a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II}) \right]}{a_2} = 227.446 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{P,II} := \frac{R_{A,P,II}}{P_1} = 1.123$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B $\left[R_{A,p,II} \cdot a_2 - p_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(a_{3,II} + \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + -p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_2 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) - p_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right] = 0$

$$R_{A,p.II} := \frac{\left[p_1 \cdot a_{1.II} \left(a_{3.II} + \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots + p_2 \cdot a_{2.II} \left(a_2 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) + p_2 \cdot \frac{a_{3.II}^2}{2} \right]}{a_2} = 5.73 \cdot \text{kN}$$

Filfaktor: $f_{pII} := \frac{R_{A,p.II}}{p_1} = 2.274 \text{ m}$

För punklaster: $Q_{kII} := 2 \cdot f_{pII} \cdot p_1 = 454.891 \cdot \text{kN}$

$$Q_{IIb} := Q_{kII} = 454.891 \cdot \text{kN}$$

$$q_{kII} := f_{pII} \cdot p_1 \cdot \frac{1}{m} = 5.73 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

För utbredd last: $q_{IIb} := g_{bro} + q_{kII} = 99.534 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Maxmoment: $M_{I,max,b} := Q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}}{4} + q_{IIb} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 24.456 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft: $V_{I,max,b} := Q_{IIb} + \frac{q_{IIb} \cdot L_{bro}}{2} = 2.446 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment brottgränstillstånd

$$M_{Ed,brott,längsled} := M_{I,max,b} = 24.456 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i brottgränstillstånd

$$V_{Ed,brott,längsled} := V_{I,max,b} = 2.446 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlöd

Reducerar punktlasterna P_1 P_2 med en faktor 1,2 för momentberäkningar

$$P_1 := \frac{P_1}{1.2} = 168.75 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := \frac{P_2}{1.2} = 112.5 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

Reaktionskraft

$$R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,II} = 180.98 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

Reaktionskraft

$$R_{A,p,II} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,II} = 5.73 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafter

$$R_{A,II} := \frac{\left[P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{\text{brobana}} \dots \right. \\ \left. + g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 278.643 \cdot \text{kN}$$

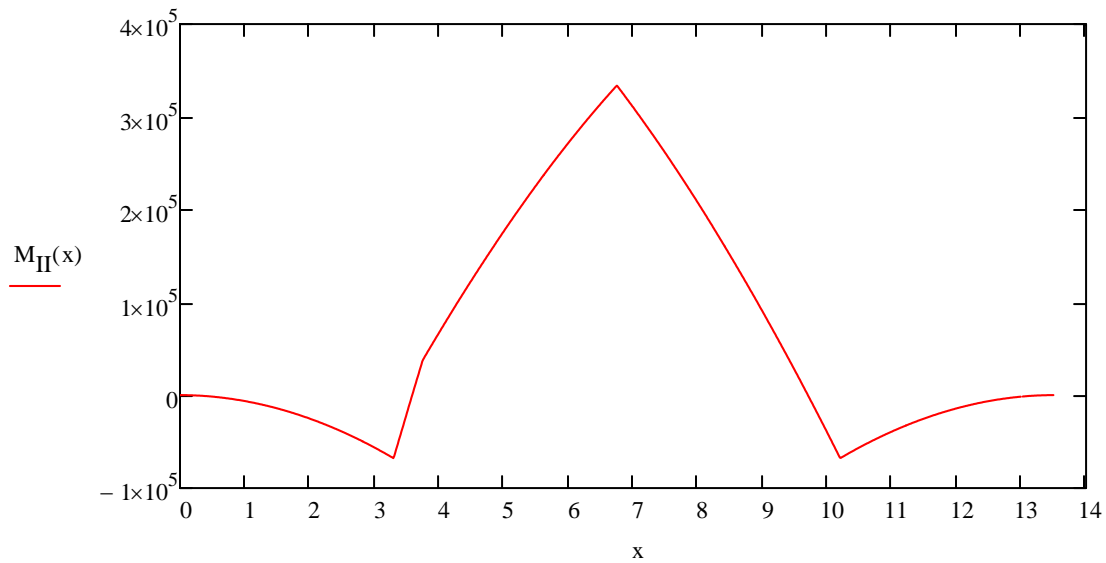
$$R_{B,II} := p_2 \cdot a_{3,II} + p_1 \cdot a_{1,II} + p_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 180.817 \cdot \text{kN}$$

$$M_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ + \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots & \\ \left[\begin{aligned} & -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.3\text{m} < x < 3.75\text{m} \\ & + \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} & -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.75\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ & + \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\ & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \end{aligned} \right] \\ \left[\begin{aligned} & -g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ & + \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2}\right) \dots \\ & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\ & + p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II})^2}{2} \end{aligned} \right] \end{cases}$$

$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II})^2}{2} \dots \\ & + P_1 \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \end{aligned}$	if $6.75\text{m} < x < 8.25\text{m}$
$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II})^2}{2} \end{aligned}$	if $8.25\text{m} < x < 10.2\text{m}$
$\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{B.II} (x - b_k - a_1 - a_2) \end{aligned}$	if $10.2\text{m} < x < 13\text{m}$

$$\left[\begin{aligned}
 & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
 & + \xi_{\text{brobana}} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
 & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\
 & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{B,II} \cdot (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \\
 & + \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2)^2}{2}
 \end{aligned} \right] \quad \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m}$$



Figur 20. Momentdiagram för lastfall II i tvärlid.

Maximalt fältmoment:

$$M_{\text{Max.fält}} := \left[\begin{aligned} &g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(6.75\text{m} - \frac{b_k}{2} \right) + g_{\text{brobana}} \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(6.75 \cdot \text{m} - b_k - a_1 - \frac{a_{2,\text{II}}}{2} \right) \dots \\ &+ P_2 \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{4,\text{II}}) - R_{A,\text{II}} \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1) \dots \\ &+ P_1 \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{2,\text{II}})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

$$M_{\text{Max.fält}} = 333.673 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Reducerar punklasterna P_1 P_2 med en faktor b_{ef} för tvärkraftsberäkningar

$$b_{\text{ef}} := 3.02$$

$$P_1 := P_1 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 67.053 \cdot \text{kN}$$

$$P_2 := P_2 \cdot \frac{1.2}{b_{\text{ef}}} = 44.702 \cdot \text{kN}$$

Punktlast

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,P,\text{II}} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,\text{II}} = 71.91 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,p,\text{II}} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,\text{II}} \cdot \left(\frac{a_{1,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,\text{II}} \cdot \left(a_{1,\text{II}} + \frac{a_{2,\text{II}}}{2} + a_{3,\text{II}} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,\text{II}}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,\text{II}} = 5.73 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafte

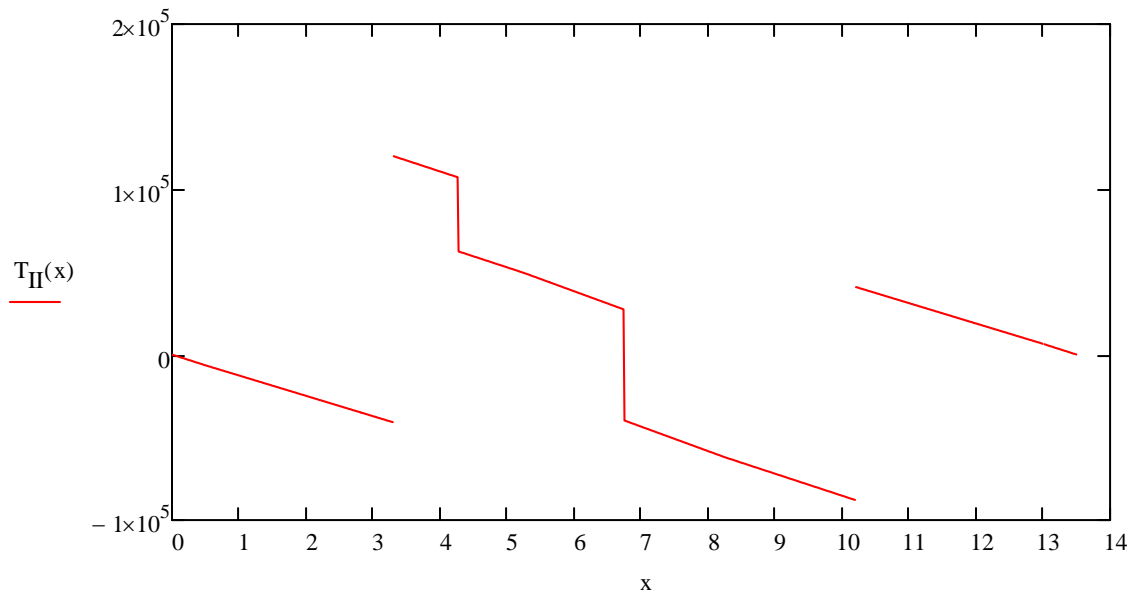
$$R_{A,II} := \frac{\left[\begin{aligned} &P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \\ &+ P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \\ &+ (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{brobana} \dots \\ &+ g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{kantbalk} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \end{aligned} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 161.017 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B,II} := P_2 \cdot a_{3,II} + P_1 \cdot a_{1,II} + P_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + (a_2 + 2 \cdot a_1) \cdot g_{brobana} + 2g_{kantbalk} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 128.948 \cdot \text{kN}$$

$$T_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot x & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (x - b_k) & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} \end{array} \right] & \text{if } 3.3\text{m} < x < 4.275\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} + P_2 \end{array} \right] & \text{if } 4.275\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) \end{array} \right] & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) + P_1 \end{array} \right] & \text{if } 6.75\text{m} < x < 8.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II}) \end{array} \right] & \text{if } 8.25\text{m} < x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \end{array} \right] & \text{if } 10.2\text{m} < x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \dots \\ + g_{kantbalk} \cdot (x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2) \end{array} \right] & \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m} \end{cases}$$



Figur 21. Tvärkraftsdiagram för lastfall II i tvärled.

Tvärkraft vänster om stöd:

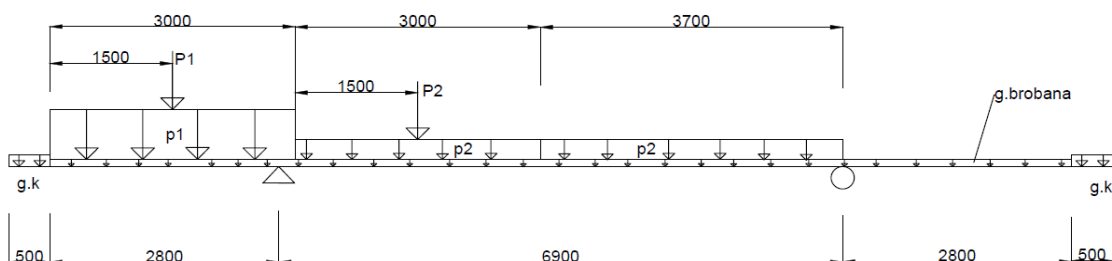
$$V_{Ed3.3mV} := -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) = -40.94 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -[g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) + p_2 \cdot (3.3m - b_k - a_1) - R_{A,II}] = 120.077 \cdot kN$$

2.4 Bruksgränstillstånd 6.16b

2.4.1 Lastfall I



Figur 22. Trafiklaster och egentygder som verkar i tvärled, lastfall I.

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,I} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,I} := 3\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,I} := 3.7\text{m}$

Formel 6.16b

Formel: $G_k + P$

Pga att vi inte har några spännkrafter $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentygd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentygd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{fö} \cdot t_{fö} + b_{fu} \cdot t_{fu} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{räcke}} \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim	$P_1 := 0$
	$P_2 := 0$
	$p_1 := 0$
	$p_2 := 0$

Moment och tvärkraft längsled

Egentygden från bron är det ända som påverkar moment och tvärkraft och därför är lastfall I och lastfall II lika.

$$q_{Ib} := g_{bro} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Maxmoment	$M_{I,max,b} := q_{Ib} \cdot \frac{L_{bro}^2}{8} = 18.761 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$
-----------	---

Maximal tvärkraft	$V_{I,max,b} := \frac{q_{Ib} \cdot L_{bro}}{2} = 1.876 \cdot \text{MN}$
-------------------	---

Dimensionerade moment bruksgränstillstånd

$$M_{Ed,bruks.lång.längsled} := M_{I,max,b} = 18.761 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i bruksgränstillstånd

$$V_{Ed,bruks.lång.längsled} := V_{I,max,b} = 1.876 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlid

Punklast

Momentjämvikt kring B	$R_{A,P,I} \cdot a_2 - P_1 \cdot \left(a_{3,I} + a_{2I} + \frac{a_{1,I}}{2} \right) - P_2 \cdot \left(a_{3I} + \frac{a_{2,I}}{2} \right) = 0$
-----------------------	---

$$R_{A,P.I} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) \right]}{a_2} = 0 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last

Momentjämvikt kring B

$$R_{A,p.I} \cdot a_2 - P_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) - P_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})^2}{2} = 0$$

$$R_{A,p.I} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1.I} \cdot \left(a_{3.I} + a_{2.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot \frac{(a_{3.I} + a_{2.I})}{2} \cdot (a_{3.I} + a_{2.I}) \right]}{a_2} = 0 \cdot \text{kN}$$

Lastfall I

Reaktionskrafter:

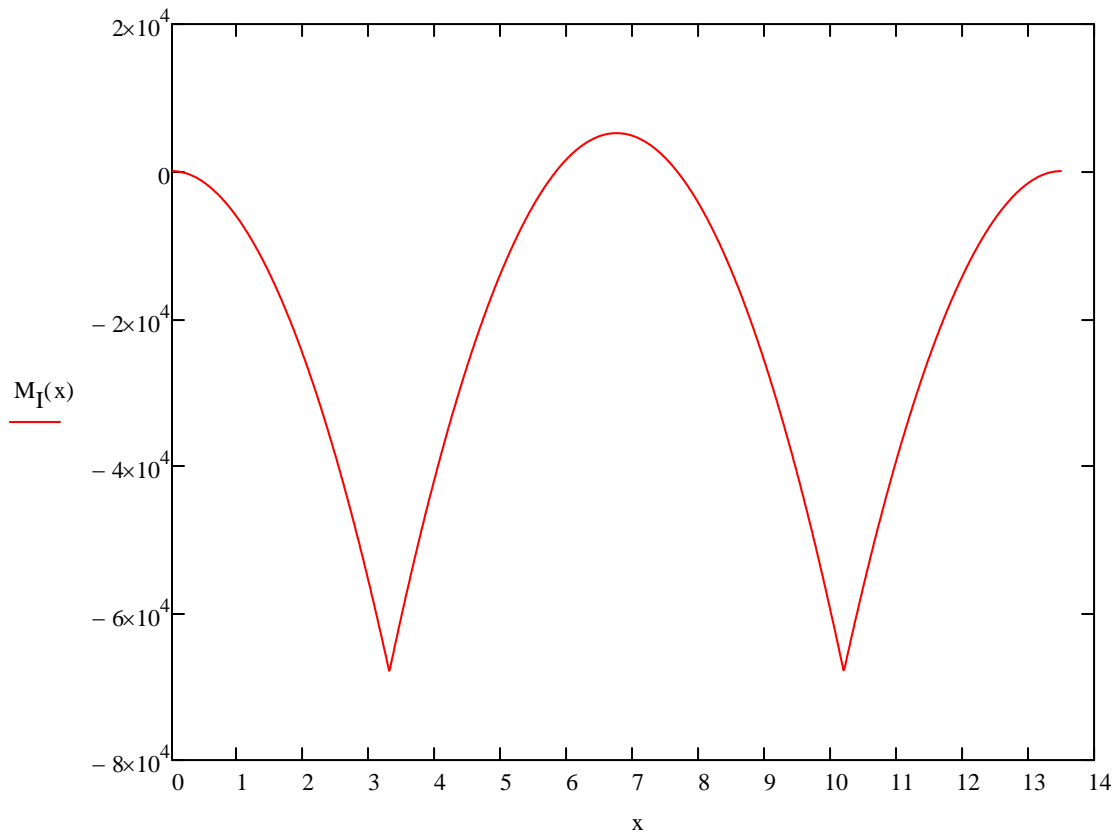
$$R_{A.I} := \frac{\left[b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \cdot \left(a_1 + a_2 + \frac{b_k}{2} \right) + a_{1.I} \cdot P_1 \cdot \left(a_{2.I} + a_{3.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + b_c \cdot \frac{a_2}{2} \cdot g_{\text{brobana}} + P_1 \cdot \left(a_{2.I} + a_{3.I} + \frac{a_{1.I}}{2} \right) \dots \right. \\ \left. + \frac{P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I})^2}{2} + P_2 \cdot \left(a_{3.I} + \frac{a_{2.I}}{2} \right) - \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \cdot b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} \right]}{a_2} = 83.375 \cdot \text{kN}$$

$$R_{B.I} := \left[g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot 2 + P_1 + P_2 + P_1 \cdot a_{1.I} + P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \dots \right] = 83.375 \cdot \text{kN} \\ \left[+ (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - R_{A.I} \right]$$

$$M_I(x) := \begin{cases} \left(\frac{x}{2}\right) \cdot \xi_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0m \leq x < 0.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \end{aligned} \right] & \text{if } 0.5m \leq x < 2m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 2m \leq x < 3.3m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + \frac{-(x - b_k)^2}{2} \cdot P_1 - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} - P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) \dots \\ & + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \end{aligned} \right] & \text{if } 3.3m \leq x < 3.5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \dots \\ & + -P_2 \cdot \frac{(x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} \end{aligned} \right] & \text{if } 3.5m \leq x < 5m \\ \left[\begin{aligned} & -b_k \cdot \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots \\ & + -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot \xi_{\text{brobana}} \dots \\ & + -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2}\right) + R_{A.I}(x - b_k - a_1) \dots \\ & + \frac{-P_2 \cdot (x - a_{1.I} - b_k)^2}{2} - P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2}\right) \end{aligned} \right] & \text{if } 5m \leq x < 10.2m \end{cases}$$

$$\left[\begin{array}{l}
-b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
+ -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - \frac{(x - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} \dots \\
+ -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
+ -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
+ -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k)
\end{array} \right] \quad \text{if } 10.2m \leq x < 13m$$

$$\left[\begin{array}{l}
-b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
+ -a_{1.I} P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) - b_c \cdot g_{brobana} \cdot \left(x - b_k - \frac{b_c}{2} \right) \dots \\
+ -P_1 \cdot \left(x - b_k - \frac{a_{1.I}}{2} \right) + R_{A.I} (x - b_k - a_1) \dots \\
+ -P_2 \cdot (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I} + a_{3.I}}{2} \right) \dots \\
+ -P_2 \cdot \left(x - b_k - a_{1.I} - \frac{a_{2.I}}{2} \right) + R_{B.I} (x - a_1 - a_2 - b_k) \dots \\
+ -g_{kantbalk} \cdot \frac{(x - b_k - b_c)^2}{2}
\end{array} \right] \quad \text{if } 13m \leq x < 13.5m$$



Figur 23. Momentdiagram för lastfall I

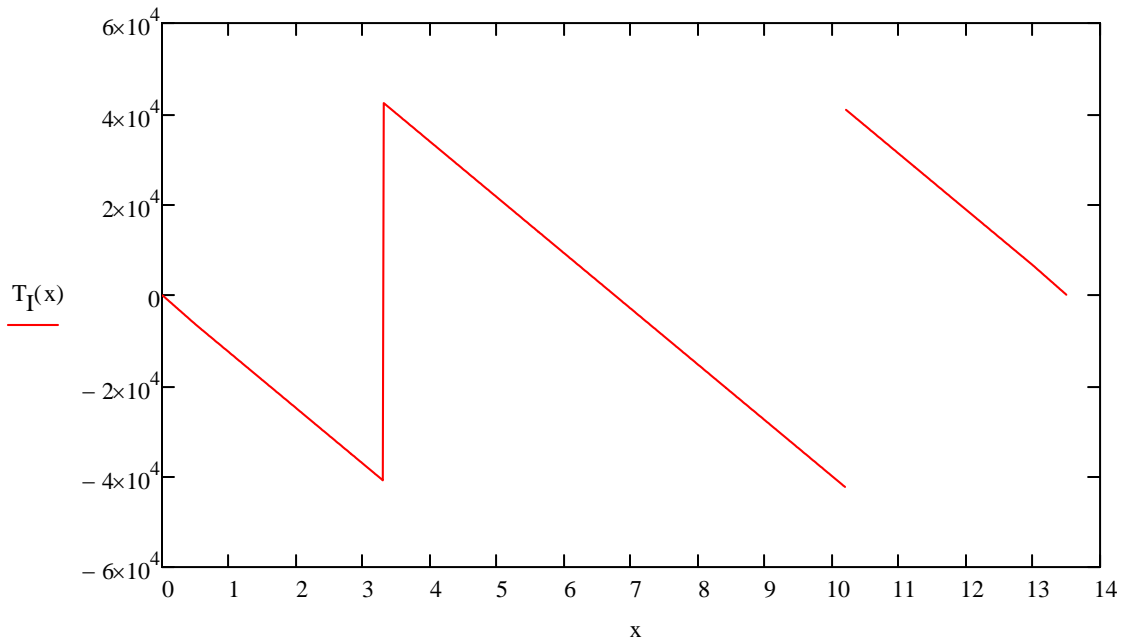
Maxmomentet i stöd B

$$M_{BMax} := -b_k \cdot g_{kantbalk} \cdot \left(3.3m - \frac{b_k}{2}\right) - \frac{(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot p_1 \dots$$

$$+ \frac{-(3.3m - b_k)^2}{2} \cdot g_{brobana} - P_1 \cdot \left(3.3m - b_k - \frac{a_{1,I}}{2}\right)$$

$$M_{BMax} = -68.041 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$T_I(x) := \begin{cases} -x \cdot g_{\text{kantbalk}} & \text{if } 0\text{m} \leq x < 0.5\text{m} \\ -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} & \text{if } 0.5\text{m} \leq x < 2\text{m} \\ -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 & \text{if } 2\text{m} \leq x < 3.3\text{m} \\ -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (x - b_k) \cdot p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 + R_{A.I} & \text{if } 3.3\text{m} \leq x < 3.5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1.I} p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - [x - (a_{1.I} + b_k)] \cdot p_2 \end{array} \right] & \text{if } 3.5\text{m} \leq x < 5\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1.I} p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - [x - (a_{1.I} + b_k)] \cdot p_2 - P_2 \end{array} \right] & \text{if } 5\text{m} \leq x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1.I} p_1 - (x - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot p_2 - P_2 + R_{B.I} \end{array} \right] & \text{if } 10.2\text{m} \leq x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - a_{1.I} p_1 - (a_1 + a_2 + a_1) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 \dots \\ + R_{A.I} - (a_{2.I} + a_{3.I}) \cdot p_2 - P_2 \dots \\ + R_{B.I} - g_{\text{kantbalk}} \cdot (x - b_k - b_c) \end{array} \right] & \text{if } 13\text{m} \leq x < 13.5\text{m} \end{cases}$$



Figur 24. Tvärkraftsdiagram för lastfall I.

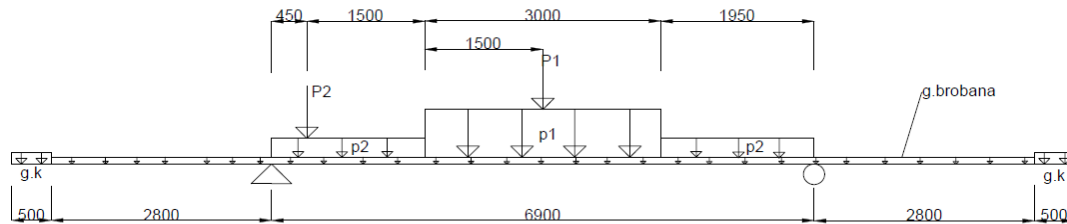
Tvärkraft vänster om stöd:

$$V_{Ed3.3mV} := -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (3.3\text{m} - b_k) \cdot p_1 - (3.3\text{m} - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 = -40.94 \cdot \text{kN}$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -b_k \cdot g_{\text{kantbalk}} - (3.3\text{m} - b_k) \cdot p_1 - (3.3\text{m} - b_k) \cdot g_{\text{brobana}} - P_1 + R_{A.I} = 42.435 \cdot \text{kN}$$

2.4.2 Lastfall II



Figur 25. Trafiklaster och egentyngder som verkar i tvärled, lastfall II

Filbredder

Lastfält 1 $a_{1,II} := 3\text{m}$

Lastfält 2 $a_{2,II} := 1.95\text{m}$

Lastfält 3 $a_{3,II} := 1.95\text{m}$

Avstånd mellan P_2 och stöd: $a_{4,II} := 0.45\text{m}$

Formel 6.16b

Formel: $G_k + P$

Pga att vi inte har några spännkrafter: $\gamma_P \cdot P = 0$

Egentyngd dim tvärled: $g_{\text{brobana.a}} := g_{\text{brobana}} = 12.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Egentyngd dim längsled: $g_{\text{kantbalk.a}} := g_{\text{kantbalk}} = 13 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$g_{\text{bro}} := \left[\left(h_k \cdot b_k + \frac{b_c}{2} \cdot h_c \right) \cdot \gamma_{\text{abtg}} + (b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + h_w \cdot t_w) \cdot \gamma_{\text{stål}} \dots \right. \\ \left. + \left(t_{\text{asfalt}} \cdot \frac{b_{\text{asfalt}}}{2} \cdot \gamma_{\text{asfalt}} + g_{\text{rücke}} \right) \right]$$

$$g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Trafiklaster dim $P_1 := 0$

$$P_2 := 0$$

$$p_1 := 0$$

$$p_2 := 0$$

Moment och tvärkraft längsled

Egentygden från bron är det ända som påverkar moment och tvärkraft och därför är lastfall I och lastfall II lika.

$$q_{\text{Ib}} := g_{\text{bro}} = 93.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Maxmoment $M_{\text{I,max,b}} := q_{\text{Ib}} \cdot \frac{L_{\text{bro}}^2}{8} = 18.761 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$

Maximal tvärkraft $V_{\text{I,max,b}} := \frac{q_{\text{Ib}} \cdot L_{\text{bro}}}{2} = 1.876 \cdot \text{MN}$

Dimensionerade moment bruksgränstillstånd

$$M_{\text{Ed,bruks.lång.längsled}} := M_{\text{I,max,b}} = 18.761 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

Dimensionerade tvärkraft i bruksgränstillstånd

$$V_{\text{Ed,bruks.lång.längsled}} := V_{\text{I,max,b}} = 1.876 \cdot \text{MN}$$

Moment och tvärkraft tvärlöd

Punktlast

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,P,II} := \frac{\left[P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,P,II} = 0 \cdot \text{kN}$$

Utbredd last:

$$\text{Reaktionskraft } R_{A,p,II} := \frac{\left[P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} \right]}{a_2}$$

$$R_{A,p,II} = 0 \cdot \text{kN}$$

Lastfall II:

Reaktionskrafter

$$R_{A,II} := \frac{\left[P_2 \cdot \frac{a_{3,II}^2}{2} + P_1 \cdot a_{1,II} \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(a_{1,II} + \frac{a_{2,II}}{2} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + P_1 \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) + P_2 \cdot \left(a_{1,II} + a_{2,II} - a_{4,II} + a_{3,II} \right) \dots \right. \\ \left. + \left(a_2 + 2 \cdot a_1 \right) \cdot \left(\frac{a_{1,II}}{2} + a_{3,II} \right) \cdot g_{\text{brobana}} \dots \right. \\ \left. + g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_2 + a_1 + \frac{b_k}{2} \right) - g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(a_1 + \frac{b_k}{2} \right) \right]}{a_2}$$

$$R_{A,II} = 83.375 \cdot \text{kN}$$

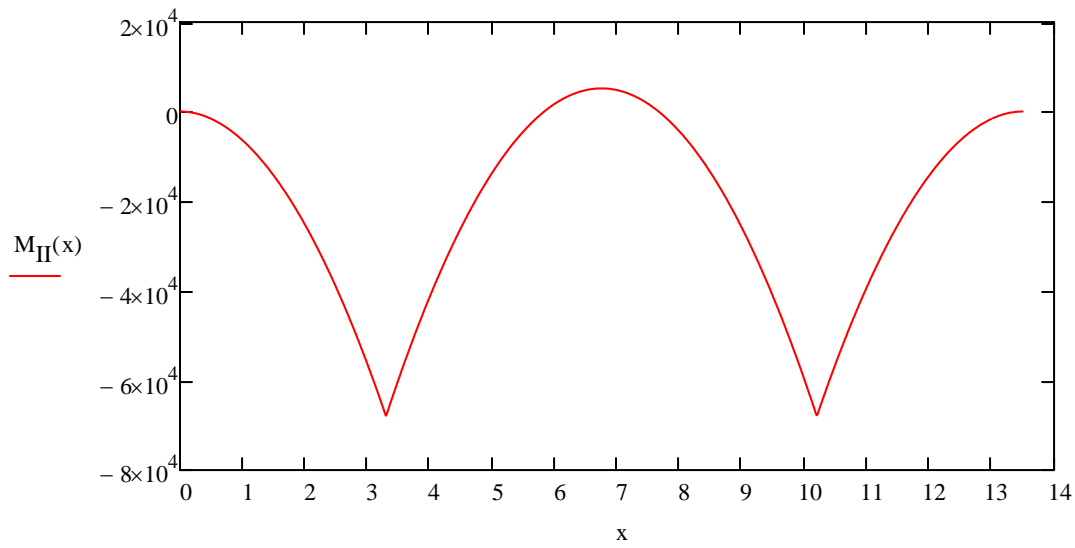
$$R_{B,II} := P_2 \cdot a_{3,II} + P_1 \cdot a_{1,II} + P_2 \cdot a_{2,II} + P_1 + P_2 + \left(a_2 + 2 \cdot a_1 \right) \cdot g_{\text{brobana}} + 2g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k - R_{A,II}$$

$$R_{B,II} = 83.375 \cdot \text{kN}$$

$$M_{II}(x) := \begin{cases}
-\xi_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\
-\xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\
+\xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \\
\left[\begin{aligned}
&\xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.3\text{m} < x < 3.75\text{m} \\
&+\xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\
&+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\
&+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1)
\end{aligned} \right] \\
\left[\begin{aligned}
&\xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 3.75\text{m} < x < 5.25\text{m} \\
&+\xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\
&+ p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1)^2}{2} \dots \\
&+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
&+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II})
\end{aligned} \right] \\
\left[\begin{aligned}
&\xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2}\right) \dots & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\
&+\xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\
&+ p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2}\right) \dots \\
&+ -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
&+ p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\
&+ p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2,II})^2}{2}
\end{aligned} \right]
\end{cases}$$

$\left[\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + p_1 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II})^2}{2} \dots \\ & + p_1 \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \end{aligned} \right]$	if 6.75m < x < 8.25m
$\left[\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + p_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot \frac{(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II})^2}{2} \dots \end{aligned} \right]$	if 8.25m < x < 10.2m
$\left[\begin{aligned} & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\ & + \xi_{\text{brobana}} \cdot \frac{(x - b_k)^2}{2} \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{A.II} (x - b_k - a_1) \dots \\ & + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4.II}) \dots \\ & + (p_1 \cdot a_{1.II} + p_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2.II} - \frac{a_{1.II}}{2} \right) \dots \\ & + p_2 \cdot a_{2.II} \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ & + -R_{B.II} (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \end{aligned} \right]$	if 10.2m < x < 13m

$$\left[\begin{aligned}
 & \xi_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(x - \frac{b_k}{2} \right) \dots \\
 & + \xi_{\text{brobana}} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{A,II} \cdot (x - b_k - a_1) \dots \\
 & + P_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{4,II}) \dots \\
 & + (p_1 \cdot a_{1,II} + P_1) \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_{2,II} - \frac{a_{1,II}}{2} \right) \dots \\
 & + p_2 \cdot a_{2,II} \cdot \left(x - b_k - a_1 - a_2 + \frac{a_{2,II}}{2} \right) \dots \\
 & + -R_{B,II} \cdot (x - b_k - a_1 - a_2) \dots \\
 & + \xi_{\text{kantbalk}} \cdot \frac{(x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2)^2}{2}
 \end{aligned} \right] \quad \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m}$$



Figur 26. Momentdiagram för lastfall II

Maximalt fältmoment:

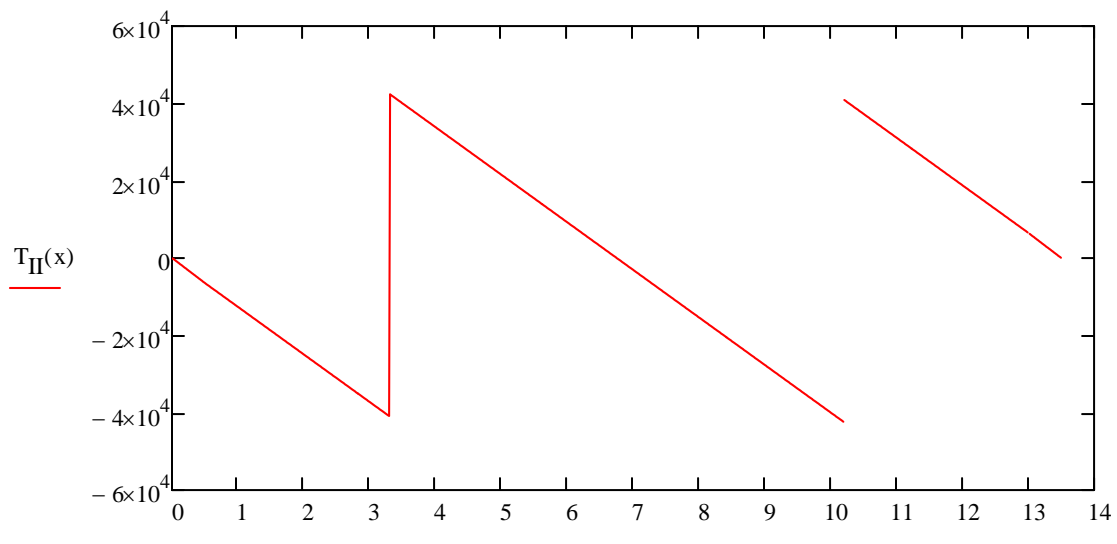
$$M_{\text{Max.fält}} := \left[\begin{aligned} &g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(6.75\text{m} - \frac{b_k}{2} \right) + g_{\text{brobana}} \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k)^2}{2} \dots \\ &+ p_2 \cdot a_{2.II} \cdot \left(6.75 \cdot \text{m} - b_k - a_1 - \frac{a_{2.II}}{2} \right) \dots \\ &+ P_2 \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{4.II}) - R_{A.II} \cdot (6.75\text{m} - b_k - a_1) \dots \\ &+ p_1 \cdot \frac{(6.75\text{m} - b_k - a_1 - a_{2.II})^2}{2} \end{aligned} \right]$$

$$M_{\text{Max.fält}} = 5.159 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Maximalt stödmoment:

$$M_{\text{Max.stöd}} := -g_{\text{kantbalk}} \cdot b_k \cdot \left(3.3\text{m} - \frac{b_k}{2} \right) - g_{\text{brobana}} \cdot \frac{(3.3\text{m} - b_k)^2}{2} = -68.041 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{II}(x) := \begin{cases} -g_{kantbalk} \cdot x & \text{if } 0 < x < 0.5\text{m} \\ -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (x - b_k) & \text{if } 0.5\text{m} < x < 3.3\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} \end{array} \right] & \text{if } 3.3\text{m} < x < 4.275\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot (x - b_k - a_1) - R_{A.II} + P_2 \end{array} \right] & \text{if } 4.275\text{m} < x < 5.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) \end{array} \right] & \text{if } 5.25\text{m} < x < 6.75\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 \dots \\ + p_1 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II}) + P_1 \end{array} \right] & \text{if } 6.75\text{m} < x < 8.25\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot (x - b_k - a_1 - a_{2.II} - a_{1.II}) \end{array} \right] & \text{if } 8.25\text{m} < x < 10.2\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (x - b_k) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \end{array} \right] & \text{if } 10.2\text{m} < x < 13\text{m} \\ \left[\begin{array}{l} g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (2 \cdot a_1 + a_2) \dots \\ + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{A.II} + P_2 + p_1 \cdot a_{1.II} \dots \\ + P_1 + p_2 \cdot a_{2.II} - R_{B.II} \dots \\ + g_{kantbalk} \cdot (x - b_k - 2 \cdot a_1 - a_2) \end{array} \right] & \text{if } 13\text{m} < x < 13.5\text{m} \end{cases}$$



Figur 27. Tvärkraftsdiagram för lastfall II.

Tvärkraft vänster om stöd:

$$V_{Ed3.3mV} := -g_{kantbalk} \cdot b_k - g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) = -40.94 \cdot kN$$

Tvärkraft höger om stöd:

$$V_{Ed3.3mH} := -[g_{kantbalk} \cdot b_k + g_{brobana} \cdot (3.3m - b_k) + p_2 \cdot (3.3m - b_k - a_1) - R_{A,II}] = 42.435 \cdot kN$$

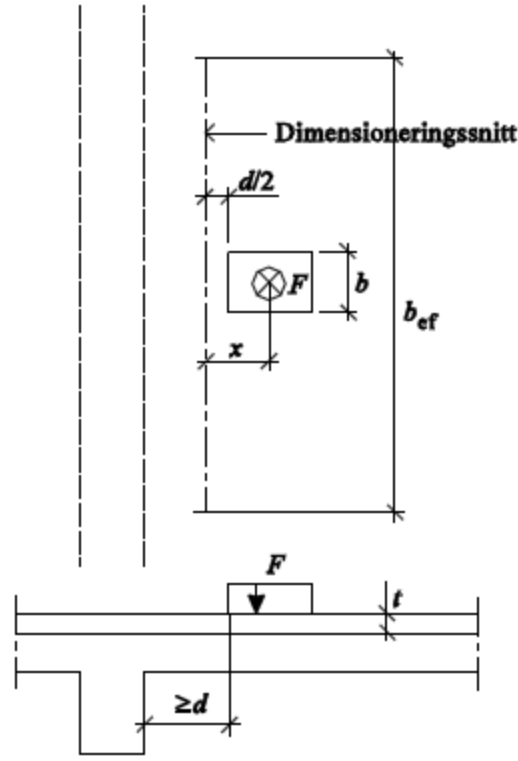
2.5 Beräkning av lastspridning för punktlaster

Effektiv bredd:

$$b_{ef} = \max(7 \cdot d + b_{last} + t_{beläggning}, 10d + 1.3 \cdot x) \quad \text{TRVRbro11 D.2.2.1.6.2}$$

- $t_{beläggning} := 0.1\text{m}$ Tjocklek beläggning
- x Avstånd från lastcentrum till dimensioneringssnitt
- $d := 0.4\text{m} \cdot 0.9 = 0.36\text{m}$ Plattans effektiva höjd
- $b_{last} := 0.4\text{m}$ Lastbredden
- $b_{ef} := 7 \cdot d + b_{last} + t_{beläggning} = 3.02\text{m}$ Vi väljer att räkna på ekvationen utan x för att vara på den säkra sidan

b_{ef} används för att reducera punktlaster vid tvärkraftsberäkningar.



Figur 28. Effektiv bredd b_{ef} för koncentrerad last på platta nära upplag

3 Dimensionering i tvärled

3.1 Bestämning av betongklass

Enligt tabell XX

$$v_{ct} := 0.4$$

$$f_{cm.cube} := 63\text{MPa}$$

Figur B4.30

$$f_{cm} := \frac{f_{cm.cube}}{1.2} = 52.5\text{MPa}$$

Ekvation B2-2

Via tabell B2.1 utläses betongklass

Betongklass C45/55

3.2 Dimensionering av tvärsnitt i brottgränstillstånd

Anordning och inplacering av armering

Materialgeometri

$$\theta_{si} := 0.02\text{m}$$

Huvudarmeringens diameter
(samma för drag och tryck)

$$A_{si} := \pi \cdot \frac{\theta_{si}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area för huvudarmering
(samma för drag och tryck)

Nominellt mått på täckande betongskikt

$$C_{nom} = C_{min} + C_{dev}$$

Ekvation B4-24

$$C_{dev} := 0.01\text{m}$$

Ekvation B4-26.
Nationell parameter som anger tillåten
måttavvikelse.

$$C_{min.b} := \theta_{si} = 0.02\text{m}$$

Ekvation B4-25.
Täckande betongskikt med hänsyn till
armeringens vidhäftning.

$$C_{min.dur} := 30\text{mm}$$

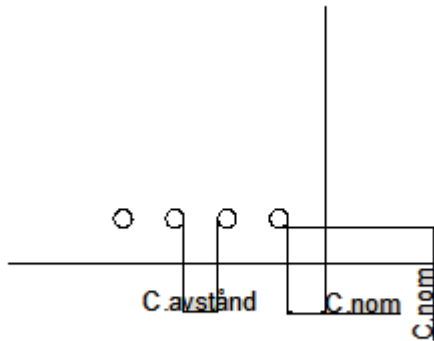
Enligt tabell XX (val av exponeringsklass)

$$C_{min} := \max(C_{min.b}, C_{min.dur}) = 0.03\text{m}$$

$$C_{nom} := C_{min} + C_{dev} = 0.04\text{m}$$

Minsta fria avstånd mellan horisontella eller vertikala armeringsstänger

$k_1 := 1$	Nationell parameter
$k_2 := 0.005\text{m}$	Nationell parameter
$d_g := 0.032\text{m}$	Största stenstorlek i ballasten
$C_{\text{avstånd}} := \max(k_1 \cdot \theta_{si}, d_g + k_2, 0.02\text{m}) = 0.037\text{m}$	Ekvation B4-27



Figur 29. Nominellt mått på täckande betongskikt och minsta fria avstånd mellan armeringsstänger

Geometri tvärsnitt

$h_{\text{balk}} := 0.4\text{m}$
$b_{\text{balk}} := 1\text{m}$
$l_{\text{balk}} := 13.5\text{m}$
$d := h_{\text{balk}} - C_{\text{nom}} = 0.36\text{m}$
$z := 0.9 \cdot d = 0.324\text{m}$

Materialdata

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$f_{yk} := 500\text{MPa}$	Karakteristisk flytgräns (tabell B2.11)
$\gamma_s := 1.15$	Partialkoefficient för armeringsstål vid normalfall
$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$	Ekvation B2-25. Dimensionerande flytgräns
$E_s := 200\text{GPa}$	Elasticitetsmodul för stål

Betong klass C45/55 cementtyp klass N

$$f_{ck} := 45 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} := 53 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} := 3.8 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c := 1.5$$

$$\alpha_{cc} := 1$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 30 \cdot \text{MPa}$$

Karakteristisk tryckhållfasthet (tabell B2.1)

Medeltryckhållfasthet

Medeldraghållfasthet (tabell B2.2)

Partialkoefficient för betong vid normalfall

Faktor som beaktar hållfasthetsreduktion
p.g.a långvarig belastning

Ekvation B2-3. Dimensionerande
tryckhållfasthet

Materialgeometri

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$$\theta_{si} := 0.02 \text{ m}$$

$$A_{si} := \pi \cdot \frac{\theta_{si}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Huvudarmeringens diameter
(samma för drag och tryck)

Area för huvudarmering
(samma för drag och tryck)

Betong klass C 45/55 cementtyp klass N

$$A_c := h_{balk} \cdot b_{balk} = 0.4 \text{ m}^2$$

Tvärsnittets bruttoarea

Dimensionerande moment och tvärkraft

Stöd

$$M_{\max,s} := 557.545 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt stödmoment, lastfall I

$$V_{\max,s} := 216.297 \text{ kN}$$

Maximal tvärkraft, lastfall II

Fält

$$M_{\max,f} := 684.414 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt fältmoment, lastfall II

Uppskattning av erforderlig armeringsmängd

Stöd

$$A_{s,s} := \frac{M_{\max,s}}{f_{yd} \cdot z} = 3.958 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ekvation B4-19. Erforderlig armeringsarea över stöd,

$$n_{s,s} := \frac{A_{s,s}}{A_{si}} = 12.598$$

Erforderligt antal armeringsstänger över stöd

Fält

$$A_{s,f} := \frac{M_{\max,f}}{f_{yd} \cdot z} = 4.858 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Ekvation B4-19. Erforderlig armeringsarea över fält,

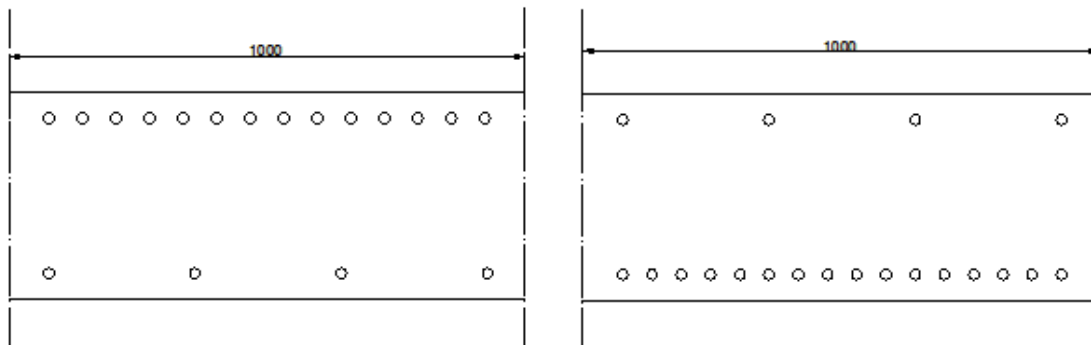
$$n_{s,f} := \frac{A_{s,f}}{A_{si}} = 15.465$$

Erforderligt antal armeringsstänger över fält

Antalet armeringsstänger väljs till 14 stycken över stöd och 16 stycken i fält. Antalet tryckarmeringar väljs till 4 stycken över stöd och 4 stycken i fält.

$$n_{s,s} := 14 \quad n'_{s,s} := 4$$

$$n_{s,f} := 16 \quad n'_{s,f} := 4$$



Figur 30. Tvärsnitt med inlag armering över stöd och fält

Kontroll av övre och undre gränser för armeringsmängd

$$A_{s\min} \leq A_s \leq A_{s\max}$$

Ekvation B4-20

$$A_{s,s} := (n_{s,s} + n'_{s,s}) \cdot A_{si} = 5.655 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,f} := (n_{s,f} + n'_{s,f}) \cdot A_{si} = 6.283 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Minimiarmering

$$A_{smin} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_{balk} \cdot d = 7.114 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ekvation B4-21.
Använd balkens bredd
p.g.a rektangulärt tvärsnitt.

Kontrollera så att A_{smin} inte är mindre än $0,0013 \cdot b_{balk} \cdot d$

$$0.0013 \cdot b_{balk} \cdot d < A_{smin} = 1$$

Värdet på A_{smin} är större än $0,0013 \cdot b_{balk} \cdot d$ och kan användas

Maxarmering

$$A_{smax} := 0.04 \cdot A_c = 0.016 \text{ m}^2$$

Ekvation B4-22

Både $A_{s.s}$ och $A_{s.f}$ befinner sig inom tillåtna armeringsmängder

Kontroll

$$A_{smin} < A_{s.s} < A_{smax} = 1$$

$$A_{smin} < A_{s.f} < A_{smax} = 1$$

3.3 Noggrann analys av tvärsnitt brottgränstillstånd

3.3.1 Fält

Geometri tvärsnitt

$$A_{s,f} := n_{s,f} \cdot \theta_{si}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 5.027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area dragarmering

$$A'_{s,f} := n'_{s,f} \cdot \theta_{si}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area tryckarmering

$$d_f := h_{balk} - C_{nom} - \frac{\theta_{si}}{2} = 0.35 \text{ m}$$

Avstånd till dragarmering

$$d'_f := C_{nom} + \frac{\theta_{si}}{2} = 0.05 \text{ m}$$

Avstånd till tryckarmering

Materialdata

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$$\epsilon_{syd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

Ekvation B2-29a

Betong klass C45/55 cementtyp klass N

$$\epsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha := 0.810$$

Tabell B5.1

$$\beta := 0.416$$

Momentkapacitet

Antag att all armering flyter

$$\sigma_s = f_{yd}$$

$$F_{s,f} := A_{s,f} \cdot f_{yd} = 2.185 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Ekvation B5-6

$$F'_{s,f} := A'_{s,f} \cdot f_{yd} = 546.364 \cdot \text{kN}$$

Jämnvikt

$$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot x$$

Ekvation B5-7

$$F_c = F_{s,f} - F'_{s,f}$$

$$x := \frac{(F_{s,f} - F'_{s,f})}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{balk}} = 0.067 \text{ m}$$

Kontroll av antagandet att all armering flyter

$$\epsilon_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_f - x)}{x} > \epsilon_{syd} = 1$$

$$\epsilon'_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (x - d'_f)}{x} > \epsilon_{syd} = 0$$

Vilket är mindre än ϵ_{syd}

Antagandet om att all armering flyter är inkorrekt

Antag att tryckarmeringen inte flyter

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

Ekvation B5-10

$$X := 0.1 \text{ m}$$

Gissa ett startvärde på X

Given

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot X + A'_{s.f} \cdot E_s \cdot \frac{(X - d'_f)}{X} \cdot \epsilon_{cu} - A_{s.f} \cdot f_{yd} = 0$$

$$X := \text{Find}(X) = 0.077 \text{ m}$$

Kontrollera antagandet om att tryckarmeringen inte flyter

$$\epsilon_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_f - X)}{X} > \epsilon_{syd} = 1$$

$$\epsilon_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_f - X)}{X}$$

$$\epsilon'_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (X - d'_f)}{X} > \epsilon_{syd} = 0$$

Vilket är mindre än ϵ_{syd}

$$\epsilon'_{s.f} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (X - d'_f)}{X}$$

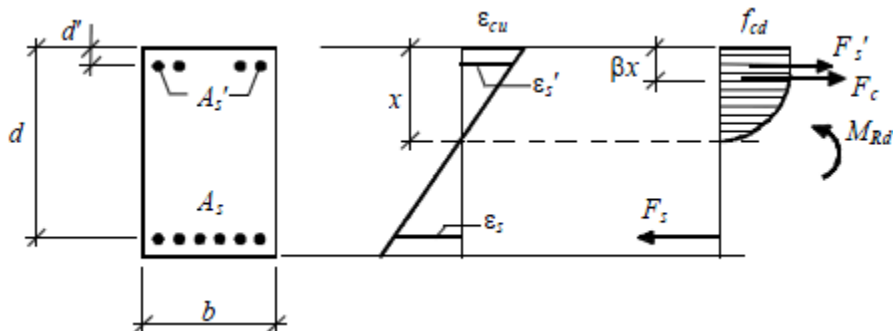
Antagandet om att tryckarmeringen inte flyter är korrekt

Momentjämvikt kring $F_{s,f}$

$$F_{s,f} := f_{yd} \cdot A_{s,f} = 2.185 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$F'_{s,f} := \epsilon'_{s,f} \cdot E_s \cdot A'_{s,f} = 309.827 \cdot \text{kN}$$

$$F_{c,f} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{balk}} \cdot X = 1.876 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$



Figur 31. Momentjämvikt i betongtvärsnittet

$$M_{Rd} := F'_{s,f} \cdot (d_f - d_f') + F_{c,f} \cdot (d_f - \beta \cdot X) = 689.193 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Momenkapacitet för tvärsnittet

$$F_{s,f} \cdot [d_f - (\beta \cdot X)] + F'_{s,f} \cdot (\beta \cdot X - d_f') = 689.193 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Dubbelkolla momentkapaciteten

$$F_{s,f} - F'_{s,f} - F_{c,f} = 2.328 \times 10^{-13} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Rd} > M_{\text{max},f} = 1$$

Momentkapaciteten för tvärsnittet är större än det maximala momentet i fält

Kontroll av segt verkningsätt

$$X < 0.35 \cdot d_f = 1$$

Ekvation B5-22

Segt verkningsätt är uppfyllt.

3.3.2 Stöd

Geometri tvärsnitt

$$A_{s,s} := n_{s,s} \cdot \theta_{si}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 4.398 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area dragarmering

$$A'_{s,s} := n'_{s,s} \cdot \theta_{si}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Area tryckarmering

$$d_s := h_{\text{balk}} - C_{\text{nom}} - \frac{\theta_{si}}{2} = 0.35 \text{ m}$$

Avstånd till dragarmering

$$d'_s := C_{\text{nom}} + \frac{\theta_{si}}{2} = 0.05 \text{ m}$$

Avstånd till tryckarmering

Materialdata

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$$\epsilon_{\text{syd}} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 2.174 \times 10^{-3}$$

Ekvation B2-29a

Betong klass C45/55 cementtyp klass N

$$\epsilon_{cu} := 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha := 0.810$$

Tabell B5.1

$$\beta := 0.416$$

Momentkapacitet

Antag att all armering flyter

$$\sigma_s = f_{yd}$$

$$F_{s,s} := A_{s,s} \cdot f_{yd} = 1.912 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Ekvation B5-6

$$F'_{s,s} := A'_{s,s} \cdot f_{yd} = 546.364 \cdot \text{kN}$$

Jämnvikt

$$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{balk}} \cdot x$$

Ekvation B5-7

$$F_c = F_{s,s} - F'_{s,s}$$

$$x := \frac{(F_{s,s} - F'_{s,s})}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{balk}}} = 0.056 \text{ m}$$

Kontroll av antagandet att all armering flyter

$$\epsilon_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_s - x)}{x} > \epsilon_{syd} = 1$$

$$\epsilon'_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (x - d'_s)}{x} > \epsilon_{syd} = 0$$

Vilket är mindre än ϵ_{syd}

Antagandet om att all armering flyter är inkorrekt

Antag att tryckarmeringen inte flyter

$$\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

Ekvation B5-10

$$X := 0.1 \text{ m}$$

Gissa ett startvärde på X

Given

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot X + A'_{s,s} \cdot E_s \cdot \frac{(X - d'_s)}{X} \cdot \epsilon_{cu} - A_{s,s} \cdot f_{yd} = 0$$

$$X := \text{Find}(X) = 0.069 \text{ m}$$

Kontrollera antagandet om att tryckarmeringen inte flyter

$$\epsilon_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_s - X)}{X} > \epsilon_{syd} = 1$$

$$\epsilon_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d_s - X)}{X}$$

$$\epsilon'_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (X - d'_s)}{X} > \epsilon_{syd} = 0$$

Vilket är mindre än ϵ_{syd}

$$\epsilon'_{s,s} := \frac{\epsilon_{cu} \cdot (X - d'_s)}{X}$$

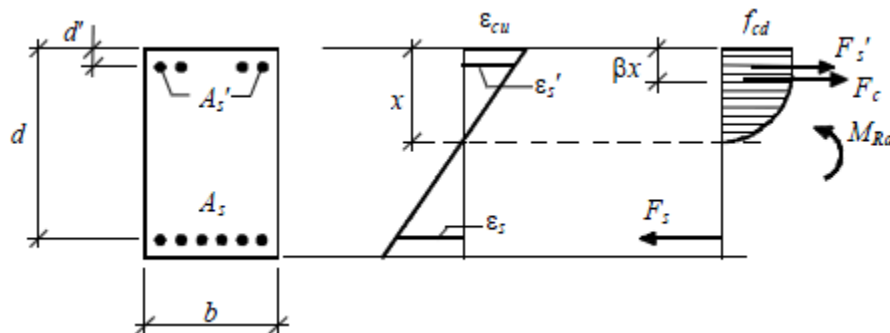
Antagandet om att tryckarmeringen inte flyter är korrekt

Momentjämvikt kring F.s.f

$$F_{s,s} := f_{yd} \cdot A_{s,s} = 1.912 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$F'_{s,s} := \epsilon'_{s,s} \cdot E_s \cdot A'_{s,s} = 240.386 \cdot \text{kN}$$

$$F_{c,s} := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{\text{balk}} \cdot X = 1.672 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$



Figur 32. Momentjämvikt i betongtvärsnittet

$$M_{Rd} := F'_{s,s} \cdot (d_s - d'_s) + F_{c,s} \cdot (d_s - \beta \cdot X) = 609.424 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Momenkapacitet för tvärsnittet}$$

$$F_{s,s} \cdot [d_s - (\beta \cdot X)] + F'_{s,s} \cdot (\beta \cdot X - d'_s) = 609.424 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad \text{Ytterligare kontroll}$$

$$F_{s,s} - F'_{s,s} - F_{c,s} = 2.328 \times 10^{-13} \cdot \text{kN}$$

$$M_{Rd} > M_{\text{max},s} = 1$$

Momentkapaciteten för tvärsnittet är större än det maximala momentet i fält

Kontroll av segt verkningsätt

$$X < 0.35 \cdot d_s = 1$$

Enligt Ekvation B5-22 för hållfasthetsklass C45/55 har vi segt verkningsätt.

Tvärkraftskapacitet

Kontroll m.h.t livtryckbrott

$$V_{Ed} \leq 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot d_s$$

Ekvation B6-11

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.492$$

$$V_{Rd} := 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_{balk} \cdot d_s = 2.583 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed} := V_{\max, s} = 216.297 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd} > V_{Ed} = 1$$

Det föreligger ingen risk för livtryckbrott

Kontroll m.h.t skjuvglidbrott

I beräkningarna används talet 45 istället för f_{ck} , svaren fås i MPa och MN

$$V_{Ed, c} \leq \max \left[\left[C_{Rd, c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_{balk} \cdot d_s \right], (v_{\min} \cdot b_{balk} \cdot d_s) \right]$$

Ekvation B6-14

$$C_{Rd, c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

Nationell parameter

$$k := 1 + \sqrt{\frac{0.2 \text{ m}}{d_s}} = 1.756$$

Vilket är mindre än 2.0

$$\rho_1 := \frac{A_{s, s}}{b_{balk} \cdot d_s} = 0.013$$

Vilket är mindre än 0.02

$$\dot{a} := 1 \text{ Pa}$$

$$v_{\min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot 45^{\frac{1}{2}} = 0.546 \quad (\text{MPa})$$

$$V_{Rd, c} := \max \left[\left[C_{Rd, c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot 45)^{\frac{1}{3}} \cdot b_{balk} \cdot d_s \cdot \dot{a} \right], (v_{\min} \cdot b_{balk} \cdot d_s \cdot \dot{a}) \right] = 0.283 \text{ N} \quad (\text{MN})$$

$$V_{Rd, c} := V_{Rd, c} \cdot 10^6 = 283.072 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed, c} := V_{\max, s} = 216.297 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Ed, c} < V_{Rd, c} = 1$$

3.4 Dimensionering av tvärsnitt i bruksgränstillstånd

Geometri tvärsnitt

$$h_{\text{balk}} := 0.4\text{m}$$

$$b_{\text{balk}} := 1\text{m}$$

$$l_{\text{balk}} := 13.5\text{m}$$

$$x_{\text{cr}} := \frac{h_{\text{balk}}}{2} = 0.2\text{m}$$

$$z_{\text{cr}} := h_{\text{balk}} - x_{\text{cr}} = 0.2\text{m}$$

Materialdata

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$

Karakteristisk flytgräns (tabell B2.11)

$$\gamma_s := 1.15$$

Partialkoefficient för armeringsstål vid normalfall

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \cdot \text{MPa}$$

Ekvation B2-25. Dimensionerande flytgräns

$$E_s := 200\text{GPa}$$

Elasticitetsmodul

Betong klass C45/55 cementtyp klass N

$$f_{ck} := 45\text{MPa}$$

Karakteristisk tryckhållfasthet (tabell B2.1)

$$f_{cm} := 53\text{MPa}$$

Medeltryckhållfasthet

$$f_{ctm} := 3.8\text{MPa}$$

Medeldraghållfasthet (tabell B2.2)

$$\gamma_c := 1.5$$

Partialkoefficient för betong vid normalfall

$$\alpha_{cc} := 1$$

Faktor som beaktar hållfasthetsreduktion p.g.a långvarid belastning

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 30 \cdot \text{MPa}$$

Ekvation B2-3. Dimensionerande tryckhållfasthet.

$$f_{ctk0.05} := 2.7\text{MPa}$$

Draghållfasthetens undre karakteristiska värde, den 5% fraktilen, (tabell B2.2)

$$E_{cm} := 36\text{GPa}$$

(Tabell B2.3)

Materialgeometri

Armeringsstänger B500B (kamstång)

$$\theta_{si} := 0.02\text{m}$$

Huvudarmeringens diameter
(samma för drag och tryck)

$$A_{si} := \pi \cdot \frac{\theta_{si}^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Area för huvudarmering
(samma för drag och tryck)

Betong klass C 45/55

$$A_c := h_{\text{balk}} \cdot b_{\text{balk}} = 0.4 \text{ m}^2$$

Tvärsnittets bruttoarea

$$I_c := \frac{b_{\text{balk}} \cdot h_{\text{balk}}^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Yttröghetsmoment för tvärsnittet

$$u := 2 \cdot b_{\text{balk}} = 2 \text{ m}$$

Omkrets av del av tvärsnittet som utsätts för uttorkning

$$h_0 := \frac{2 \cdot A_c}{u} = 400 \cdot \text{mm}$$

Ekvation B2-19

Omgivningens förutsättningar

$$RH := 80$$

Omgivningens relativa fuktighet angiven i %

Dimensionerande moment, korttidslast

Stöd

$$M_{\text{max.s.kort}} := 354.782 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt stödmoment, lastfall I formel 6.15b

Fält

$$M_{\text{max.f.kort}} := 333.673 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Maximalt fältmoment, lastfall II formel 6.15.b

Föreligger risk för uppsprickning av tvärsnittet

$$\sigma_c(z) = \frac{M}{I} \cdot z$$

Ekvation B3-14

$$k := 1.6 - \frac{h_{\text{balk}}}{1 \text{ m}} = 1.2$$

$$f_{\text{ctk.fl}} := k \cdot f_{\text{ctk}0.05} = 3.24 \cdot \text{MPa}$$

Ekvation B2-13

$$M_{\text{cr}} := \frac{f_{\text{ctk.fl}} \cdot I_c}{z_{\text{cr}}} = 86.4 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Bestämning av sprickmomentet M_{cr}

$$M_{\max.f.kort} > M_{cr} = 1$$

$$M_{\max.s.kort} > M_{cr} = 1$$

Både stöd- och fältmomentet är större än sprickmomentet. Tvärsnittet är böjsprucket och befinner sig i Stadium II.

Dimensionerande moment, långtidslast

Stöd

$$M_{\max.s.lång} := 81.653 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Fält

$$M_{\max.f.lång} := 5.159 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Inverkan av krympning, fält

$$F_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_s$$

Ekvation B7-61

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

Ekvation B2-17

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi}$$

Ekvation B2-18

$$\epsilon_{cdi} := 0.297 \cdot 10^{-3}$$

Tabell B2.5

$$\beta_{RH} := 0.756$$

Tabell B2.6

$$k_h := 0.70$$

Tabell B2.7

$$\epsilon_{ca} := 0.0875 \cdot 10^{-3}$$

Tabell B2.8

$$\epsilon_{cd} := k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi} = 1.572 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{cs} := \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 2.447 \times 10^{-4}$$

$$F_{cs.f} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s.f} = 245.972 \cdot \text{kN}$$

Krympkraft i dragarmering

$$F'_{cs} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_{s.f} = 61.493 \cdot \text{kN}$$

Krympkraft i tryckarmering

Inverkan av krypning, fält

I beräkningarna anges f_{cm} som 53 och h_0 som 500

$$\alpha_{ef} = \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi)$$

Ekvation B7-67

$$\varphi = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,o}$$

Ekvation B2-23

$$\varphi_{RH} = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.2} \cdot \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0.7}\right]$$

För $f_{cm} > 35$ MPa

$$\varphi_{RH} := \left(\frac{35}{53}\right)^{0.2} \cdot \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{500}} \cdot \left(\frac{35}{53}\right)^{0.7}\right] = 1.094$$

$$\beta_{f,cm} := 2.31$$

Tabell B2.9

$$\beta_{t,o} := 0.48$$

Figur B2.20

$$\varphi := \varphi_{RH} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,o} = 1.213$$

Slutgiltigt kryptal

$$\alpha_{ef} := \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi) = 12.293$$

Beräkning av ekvivalent betongvärsnitt i fält

Krympningen får i beräkningarna samma effekt som en yttre normalkraft. Detta innebär att neutrallagrets läge inte kan bestämmas med hjälp av en tyngdpunktsekvation. Iterativa beräkningar genomförs enligt avsnitt B7.3.3.

Det värde på x som anges nedan har intererats fram.

Gissa ett startvärde på x

$$x := 0.03\text{m}$$

$$A_{II,ef} := b_{balk} \cdot x + \alpha_{ef} \cdot A_{s,f} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A'_{s,f} = 0.106 \text{ m}^2$$

$$x_{TP} := \frac{b_{balk} \cdot x \cdot \frac{x}{2} + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A'_{s,f} \cdot d'_f + \alpha_{ef} \cdot A_{s,f} \cdot d_f}{A_{II,ef}} = 0.215 \text{ m}$$

$$I_{II,ef} := \frac{b_{balk} \cdot x^3}{12} + b_{balk} \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} - x_{TP} \right)^2 + (\alpha_{ef} - 1) \cdot A'_{s,f} \cdot (x_{TP} - d'_f)^2 \dots = 2.715 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$
$$+ \alpha_{ef} \cdot A_{s,f} \cdot (d_f - x_{TP})^2$$

$$z := x - x_{TP} = -0.185 \text{ m}$$

$$e_{s,f,ef} := d_f - x_{TP} = 0.135 \text{ m}$$

$$e'_{s,f,ef} := d'_f - x_{TP} = -0.165 \text{ m}$$

Avståndet från armeringslagren till tyngdpunkten hos det ekvivalenta betongvärsnittet

$$\sigma_{c,f} := \frac{F_{cs,f} + F'_{cs}}{A_{II,ef}} + \frac{F_{cs,f} \cdot e_{s,f,ef} + F'_{cs} \cdot e'_{s,f,ef} + M_{\max,f,lång}}{I_{II,ef}} \cdot z = 978.092 \cdot \text{kPa} \text{ Ekvation B7-70a}$$

Beräkna spänningarna i tvärsnittet i fält

Beräkna värsta tryckspänning i betongen

Spänningen beräknas i tvärsnittets övre kant

$$z_c := -x = -0.03 \text{ m}$$

$$\sigma_{c.f} := \frac{F_{cs.f} + F'_{cs}}{A_{II.ef}} + \frac{F_{cs.f} \cdot e_{s.f.ef} + F'_{cs} \cdot e'_{s.f.ef} + M_{\text{max.f.lång}}}{I_{II.ef}} \cdot z_c = 2.589 \cdot \text{MPa}$$

(OBS! Värsta tryckspänning blir dragspänning på grund av lågt moment över fält i relation till mängden armering.)

Beräkna värsta dragspänningen i armeringen

Spänningen beräknas i dragarmeringen

$$z_f := d_f - x = 0.32 \text{ m}$$

Fiktiv betongspänning på armeringens nivå

$$\sigma_{c.s.f} := \frac{F_{cs.f} + F'_{cs}}{A_{II.ef}} + \frac{F_{cs.f} \cdot e_{s.f.ef} + F'_{cs} \cdot e'_{s.f.ef} + M_{\text{max.f.lång}}}{I_{II.ef}} \cdot z_f = 6.227 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{s.f} := \frac{-F_{cs.f}}{A_{s.f}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{c.s.f} = 27.617 \cdot \text{MPa}$$

Ekvation B7-75

Kontrollera spänningsbegränsningar i bruksstadium

$$\sigma_{c.f} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1 \quad 1 \text{ betydet sant}$$

Nationell parameter

$$\sigma_{s.f} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad 1 \text{ betydet sant}$$

Nationell parameter

Detta bekräftar även att armeringsstålet inte flyter ($\sigma_s < f_{yk}$), tvärsnittet befinner sig i stadium II. Beräkningen i fält är inte korrekt. På grund av det låga fältmomentet uppstår ingen tryckzon i tvärsnittet.

Inverkan av krympning, stöd

$$F_{cs} = E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_s$$

Ekvation B7-61

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

Ekvation B2-17

$$\epsilon_{cd} = k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi}$$

Ekvation B2-18

$$\epsilon_{cdi} := 0.297 \cdot 10^{-3}$$

Tabell B2.5

$$\beta_{RH} := 0.756$$

Tabell B2.6

$$k_h := 0.70$$

Tabell B2.7

$$\epsilon_{ca} := 0.0875 \cdot 10^{-3}$$

Tabell B2.8

$$\epsilon_{cd} := k_h \cdot \beta_{RH} \cdot \epsilon_{cdi} = 1.572 \times 10^{-4}$$

$$\epsilon_{cs} := \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = 2.447 \times 10^{-4}$$

$$F_{cs,s} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A_{s,s} = 215.225 \cdot \text{kN}$$

Krympkraft i dragarmering

$$F'_{cf} := E_s \cdot \epsilon_{cs} \cdot A'_{s,s} = 61.493 \cdot \text{kN}$$

Krympkraft i tryckarmering

Inverkan av krypning, stöd

I beräkningarna anges f_{cm} som 53 och h_0 som 500

$$\alpha_{ef} = \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi)$$

Ekvation B7-67

$$\varphi = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,o}$$

Ekvation B2-23

$$\varphi_{RH} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} \cdot \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \right]$$

För $f_{cm} > 35$ MPa

$$\varphi_{RH} := \left(\frac{35}{53} \right)^{0.2} \cdot \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{500}} \cdot \left(\frac{35}{53} \right)^{0.7} \right] = 1.094$$

$$\beta_{f,cm} := 2.31$$

Tabell B2.9

$$\beta_{t,o} := 0.48$$

Figur B2.20

$$\varphi := \varphi_{RH} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t,o} = 1.213$$

Slutgiltigt krytpal

$$\alpha_{ef} := \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi) = 12.293$$

Beräkning av ekvivalent betongtvärsnitt, stöd

Krypningen får i beräkningarna samma effektsom en yttre normalkraft. Detta innebär att neutrallagrets läge inte kan bestämmas med hjälp av en tyngdpunktsekvation. Iterativa beräkningar genomförs enligt avsnitt B7.3.3.

Det värde på x som anges nedan har intererats fram.

Gissa ett startvärde på x

$$x := 0.1\text{m}$$

$$A_{\text{II,ef}} := b_{\text{balk}} \cdot x + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s,s}} + (\alpha_{\text{ef}} - 1) \cdot A'_{\text{s,s}} = 0.168 \text{ m}^2$$

$$x_{\text{TP}} := \frac{b_{\text{balk}} \cdot x \cdot \frac{x}{2} + (\alpha_{\text{ef}} - 1) \cdot A'_{\text{s,s}} \cdot d'_s + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s,s}} \cdot d_s}{A_{\text{II,ef}}} = 0.146 \text{ m}$$

$$I_{\text{II,ef}} := \frac{b_{\text{balk}} \cdot x^3}{12} + b_{\text{balk}} \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2} - x_{\text{TP}} \right)^2 + (\alpha_{\text{ef}} - 1) \cdot A'_{\text{s,s}} \cdot (x_{\text{TP}} - d'_s)^2 + \alpha_{\text{ef}} \cdot A_{\text{s,s}} \cdot (d_s - x_{\text{TP}})^2 \dots = 3.386 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$z := x - x_{\text{TP}} = -0.046 \text{ m}$$

$$e_{\text{s,s,ef}} := d_s - x_{\text{TP}} = 0.204 \text{ m}$$

$$e'_{\text{s,s,ef}} := d'_s - x_{\text{TP}} = -0.096 \text{ m}$$

Avståndet från armeringslagret till tyngdpunkten hos det ekvivalenta betongtvärsnittet

$$\sigma_{\text{c,f}} := \frac{F_{\text{cs,s}} + F'_{\text{cs}}}{A_{\text{II,ef}}} + \frac{F_{\text{cs,s}} \cdot e_{\text{s,s,ef}} + F'_{\text{cs}} \cdot e'_{\text{s,s,ef}} + M_{\text{max.s.lång}}}{I_{\text{II,ef}}} \cdot z = 6.234 \cdot \text{kPa} \quad \text{Ekvation B7-70a}$$

Beräkna spänningarna i tvärsnittet, stöd

Beräkna värsta tryckspänning i betongen

Spänningen beräknas i tvärsnittets övre kant

$$z_c := -x = -0.1 \text{ m}$$

$$\sigma_{c.s} := \frac{F_{cs.s} + F'_{cs}}{A_{II.ef}} + \frac{F_{cs.s} \cdot e_{s.s.ef} + F'_{cs} \cdot e'_{s.s.ef} + M_{\max.s.lång}}{I_{II.ef}} \cdot z_c = -1.886 \cdot \text{MPa}$$

Beräkna värsta dragspänningen i armeringen

Spänningen beräknas i dragarmeringen

$$z_s := d_f - x = 0.25 \text{ m}$$

Fiktiv betongspänning på armeringens nivå

$$\sigma_{c.s.s} := \frac{F_{cs.f} + F'_{cs}}{A_{II.ef}} + \frac{F_{cs.f} \cdot e_{s.f.ef} + F'_{cs} \cdot e'_{s.s.ef} + M_{\max.s.lång}}{I_{II.ef}} \cdot z_s = 9.87 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{s.s} := \frac{-F_{cs.s}}{A_{s.s}} + \alpha_{ef} \cdot \sigma_{c.s.s} = 72.406 \cdot \text{MPa}$$

Ekvation B7-75

Kontrollera spänningsbegränsningar i bruksstadium

$$\sigma_{c.s} < 0.45 \cdot f_{ck} = 1 \quad 1 \text{ betydett sant}$$

Nationell parameter

$$\sigma_{s.s} < 0.8 \cdot f_{yk} = 1 \quad 1 \text{ betydett sant}$$

Nationell parameter

Detta bekräftar även att armeringsstålet inte flyter ($\sigma_s < f_{yk}$), tvärsnittet befinner sig i stadium II.

Beräkning av sprickbredd

Beräkningarna genomförs över stöd

$$W_{k.till} := 0.2 \cdot \text{mm}$$

Enligt tabell för val av exponeringsklass

$$W_k = S_{r.max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = S_{r.max} \cdot \Delta\epsilon$$

Ekvation B9-18
Sprickbredd enligt EC2

Beräkning av sprickavstånd

$$S_{r.max} = k_3 \cdot c_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\theta_s}{\rho_{p.ef}}$$

Ekvation B9-11

$$k_1 := 0.8$$

För kamstänger

$$k_2 := 0.5$$

För ren böjning

$$k_3 := 3.4$$

Nationell parameter

$$k_4 := 0.425$$

Nationell parameter

$$h_{c.ef} := \min \left[2.5 \cdot (h_{balk} - d_s), \frac{h_{balk} - x}{3}, \frac{h_{balk}}{2} \right] = 0.1 \text{ m}$$

Ekvation B9-13
Höjd på effektiv betongarea

$$A_{ef} := b_{balk} \cdot h_{c.ef} = 0.1 \text{ m}^2$$

$$\rho_{p.ef} := \frac{A_{s.s}}{A_{ef}} = 0.044$$

Maximala sprickavstånd blir:

$$S_{r.max} := k_3 \cdot C_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\theta_{si}}{\rho_{p.ef}} = 0.213 \text{ m}$$

Kontroll av uppsakattad medverkande betongarea

Om armeringsstängernas centrumavstånd är större än $5 \cdot (C_{nom} + \theta_{si}/2)$ är $S_{r.max} = 1.3 \cdot (h_{balk} - x)$

$$CC_s := \frac{b_{balk}}{n_{s.s}} = 0.071 \text{ m}$$

$$CC_s > 5 \cdot \left(C_{nom} + \frac{\theta_{si}}{2} \right) = 0$$

Det framräknade värdet på $S_{r.max}$ stämmer

Beräkning av sprickbredd

$$k_t := 0.4$$

$$\Delta\varepsilon := \frac{\sigma_{s,s} - k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{p,ef}} \cdot (1 + \alpha_{ef} \cdot \rho_{p,ef})}{E_s} = 9.58 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\varepsilon > 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,s}}{E_s} = 0$$

Det framräknade värdet på $\Delta\varepsilon$ stämmer inte

Använd krav på minsta tillåtna skillnad

$$\Delta\varepsilon := 0.6 \cdot \frac{\sigma_{s,s}}{E_s} = 2.172 \times 10^{-4}$$

$$W_k := S_{r,max} \cdot \Delta\varepsilon = 0.046 \cdot \text{mm}$$

$$W_k < W_{k,till} = 1 \quad 1 \text{ betyder sant}$$

Kravet på största tillåtna sprickbredd är uppfyllt

För långtidslast

Ekvation B9-19
Skillnad i stålets och
betongens medeltjöjning

3.5 Armeringens avkortning och förankring i brottsgränstillstånd

För beräkningarna används ett sammanfodat momentdiagram för lastfall I och lastfall II

Bestämning av dragkraftsbehov

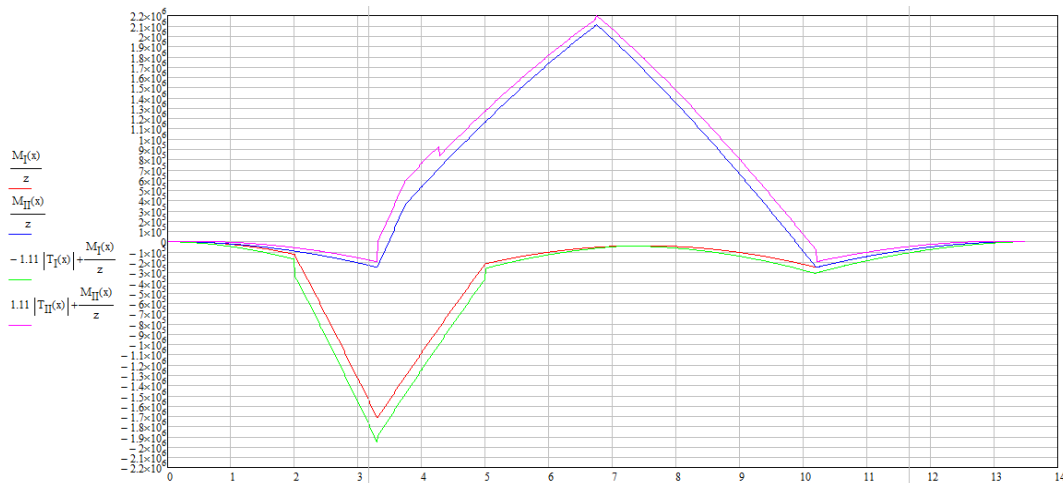
Det teoretiska dragkraftsbehovet ökas med ett dragkraftstillskott ΔF_{td}

$$\Delta F_{td} = 1.11 \cdot V_{Ed}$$

Ekvation B10-10

Momentkurvan för lastfall I och lastfall II (brottsgräns) plottas i samma diagram. I diagrammet plottas även $F_{td}(x)$.

$$F_{td} = \frac{M}{z} + \Delta F_{td}$$



Figur 33. Dragkraftsbehov i tvärled

Dragkraftskapacitet för armeringsstänger

$$F_{sy4} := 4 \cdot A_{si} \cdot f_{yd} = 5.464 \times 10^5 \cdot \text{N}$$

$$F_{sy14} := 14 A_{si} \cdot f_{yd} = 1.912 \times 10^6 \text{ N}$$

$$F_{sy16} := 16 \cdot A_{si} \cdot f_{yd} = 2.185 \times 10^6 \text{ N}$$

Vidhäftningshållfasthet

$$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

Ekvation B10-37

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$$

Ekvation B2-10

$$f_{ctk0.05} = 2.7 \cdot \text{MPa}$$

Draghållfasthetens undre
karaktäristiska värde

$$\alpha_{ct} := 1.0$$

Nationell parameter B
eaktar långvarig belastning

$$\gamma_c = 1.5$$

Partialkoefficient för betong, normalt

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c} = 1.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\eta_1 := 1$$

Tabell B10.2

Goda vidhäftningsförhållanden

$$\eta_2 := 1$$

På grund av stångdiameter < 32 mm

$$f_{bd} := 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 4.05 \cdot \text{MPa}$$

Maximal krafttillväxt per stång

$$S_{bd} = \frac{\pi \cdot \theta_{si} \cdot f_{bd}}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5}$$

Ekvation B10-38

α_1 - α_5 är faktorer som beaktar gynsamma effekter inom förankringszonen. Samtliga faktorer varierar mellan 0.7 och 1. Det är således på den säkra sidan att ge alla värdet 1.

$$S_{bd} := \pi \cdot \theta_{si} \cdot f_{bd} = 254.469 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

När krafttillväxten ritas in i momenttdiagrammet multipliceras S_{bd} med antalet armeringsstänger.

$$S_{bd4} := 4 \cdot S_{bd} = 1.018 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$S_{bd10} := 10 \cdot S_{bd} = 2.545 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$S_{bd12} := 12 \cdot S_{bd} = 3.054 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Dimensionerande förankringslängd

Maximala dimensionerande förankringslängd är den längd som fodras för att förankra stängens flytkraft.

$$l_{bd,max} := f_{yd} \cdot \frac{A_{si}}{S_{bd}} = 0.537 \text{ m}$$

Ekvation B10-43.
Erfoderlig förankringslängd för armeringstängerna

Skarvning av armering

Då armeringsstänger normalt levereras i längder upp till 12 meter krävs skarvning av armeringstängerna. Nedan beräknas erfoderlig skarvlängd för omlottskarvning där dragkraften överförs med sneda trycksträvor.

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$$

Ekvation B10-45.
Erfoderlig skarvlängd.

Då alla faktorer i S.bd har satts till 1 får $l_{b,rqd}$ samma värde som $l_{bd,max}$

$$l_{b,rqd} := l_{bd,max} = 0.537 \text{ m}$$

Faktorerna α_1 - α_5 beaktar gynsamma inverkningszoner inom förankringszonen och sätts därför till värdet 1.

$$\alpha_1 := 1$$

$$\alpha_2 := 1$$

$$\alpha_3 := 1$$

$$\alpha_5 := 1$$

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{\rho_1}{0.25}}$$

ρ_1 är andelen av den totala armeringen som är skarvad inom avståndet $0.65 l_0$ åt varje håll från skarvens centrum.

$$\rho_1 := 1$$

$$\alpha_6 := \sqrt{\frac{\rho_1}{0.25}} = 2$$

$$1 \leq \alpha_6 \leq 1.5 = 0$$

Använd största möjliga värde på α_6

$$\alpha_6 := 1.5$$

$$l_0 := \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 0.805 \text{ m}$$

Kontrollera värdet mot minimivillkor för skarvlängden

$$l_{0,\min} := \max(0.3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,\text{reqd}}, 14 \cdot \theta_{si}, 0.2\text{m}) = 0.28 \text{ m}$$

$$l_0 > l_{0,\min} = 1$$

Värdet på l_0 är ok.

Enligt EC 2 begränsas armeringsskarvarna av följande krav:

- Skarvarna ska normalt vara förskjutna i förhållande till varandra (d.v.s alla stänger bör inte skarvas i samma snitt).
- Skarvar ska undvikas i tvärsnitt med stora moment, t.ex. inom områden som kan bli flytleder.
- Skarvar bör anordnas symmetriskt i tvärsnittet.
- Minimikrav på detaljutformning och tvärarmering ska vara uppfyllda.
- För dragna stänger gäller att alla stänger får skarvas i samma snitt om stängerna ligger i samma lager. Om stängerna ligger i flera lager får högst 50 % av stängerna skarvas i samma snitt.
- För tryckta stänger eller sekundär armering gäller att alla stänger får skarvas i samma snitt.

4 Dimensionering i längsled

4.1 Beräkning av medverkande betongbredd

Avstånd

Kantbalk till I-balk: $a_1 := 2.8\text{m}$

I-balk till I-balk: $a_2 := 6.9\text{m}$

Total brolängd: $L_{\text{bro}} := 40\text{m}$

$b_{\text{eff}} = b_o + \sum_i b_{ei}$ SS-EN 1994-2, 5.4.1.2

$L_e := 0.85L_{\text{bro}} = 34\text{m}$

$b_o := 0.1\text{m}$ Avstånd mellan studs prelimenärt värde

$b_{e1} := \frac{L_e}{8} = 4.25\text{m}$

$b_{e1} < \frac{a_2}{2} - \frac{b_o}{2} = 0$ Avståndet kan inte vara större än $a_2/2 - b_o/2$

$b_{e1} := \frac{a_2}{2} - \frac{b_o}{2} = 3.4\text{m}$ Medverkande bredd innanför balk

$b_{e2} := \frac{L_e}{8} = 4.25\text{m}$

$b_{e2} < a_1 - \frac{b_o}{2} = 0$ Avståndet kan inte vara större än $a_1 - b_o$

$b_{e2} := a_1 - \frac{b_o}{2} = 2.75\text{m}$ Medverkande bredd utanför balk

$b_{\text{eff}} := b_o + b_{e1} + b_{e2} = 6.25\text{m}$ Total medverkande betongbredd

4.2 Kontroll av I-balkens flänsar

Kontrollen av I-balkens flänsar sker med avseende på dimensionerande moment $M_{Ed,1}$ i gjutningsskedet och $M_{Ed,2}$ i brottsgränstillstånd.

DIMENSIONER

Betongtvärsnittets höjd:	$h_c := 0.4\text{m}$
Betongtvärsnittets effektiva bredd:	$b_{eff} := 6.25\text{m}$
Halva brobanas bredd	$b_c := 6.25\text{m}$
Balkens totala höjd:	$h_s := 2\text{m}$
Överflänsens tjocklek:	$t_{fö} := 0.05\text{m}$
Underflänsens tjocklek:	$t_{fu} := 0.06\text{m}$
Överflänsens bredd:	$b_{fö} := 0.55\text{m}$
Underflänsen bredd:	$b_{fu} := 0.80\text{m}$
Livets tjocklek	$t_w := 0.03\text{m}$
Livets höjd:	$h_w := h_s - t_{fö} - t_{fu} = 1.89\text{ m}$
Brons spännvidd:	$L_{bro} := 40\text{m}$
Höjd kantbalk	$h_k := 0.5\text{m}$
Bredd kantbalk	$b_k := 0.5\text{m}$
Svetsens a-värde:	$a := 0.012\text{m}$

MATERIALKONSTANTER

Elasticitetsmoduler

Stål:	$E_s := 200\text{GPa}$
Betong:	$E_{cm} := 36\text{GPa}$

Hållfasthetsvärden

Stål

Karakteristisk flytgräns: $f_y := 440 \text{ MPa}$

Armering

Karakteristisk flytgräns: $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$

Betong

Karakteristisk tryckhållfasthet: $f_{ck} := 45 \text{ MPa}$

Karakteristisk draghållfasthet: $f_{ctm} := 3.8 \text{ MPa}$

Tungheter

Armerad betong: $\gamma_{abtg} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Stål: $\gamma_s := 77 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

KONTROLL AV AREA FÖR ÖVER- OCH UNDERFLÄNS

$$A_{\text{balk}} := t_{fö} \cdot b_{fö} + t_w \cdot h_w + t_{fu} \cdot b_{fu} \quad A_{\text{balk}} = 0.132 \cdot \text{m}^2$$

Dimensionerande moment i gjutningsskedet, $M_{\text{Ed},1}$ beräknas i fältmitt och är beroende av halva brons egentyngd $g_{\text{bro.gj}}$.

Halva brons egentyngd i gjutningsskedet:

$$g_{\text{bro.gj}} := 1.1 \left[(b_k \cdot h_k + b_c \cdot h_c) \cdot \gamma_{abtg} + A_{\text{balk}} \cdot \gamma_s \right] = 86.822 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Partialkoefficient för brottsgränstillstånd: $\gamma_G := 1.35$

$$M_{\text{Ed},1} := \frac{\gamma_G \cdot g_{\text{bro.gj}} \cdot L_{\text{bro}}^2}{8}$$

$$M_{\text{Ed},1} = 23.442 \cdot \text{MN} \cdot \text{m}$$

$$\rho_1 := h_w + \frac{t_{fö}}{2} + \frac{t_{fu}}{2} = 1.945 \text{ m}$$

Erfodrad area för överfläns:

$$A_{f_{\ddot{o}.Ed} := \frac{M_{Ed.1}}{\rho_1 \cdot f_y}$$

$$A_{f_{\ddot{o}.Ed} = 0.027 \text{ m}^2$$

$$A_{f_{\ddot{o}}} := t_{f_{\ddot{o}}} \cdot b_{f_{\ddot{o}}}$$

$$A_{f_{\ddot{o}}} = 0.028 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_{f_{\ddot{o}.Ed}}}{A_{f_{\ddot{o}}}} = 0.996$$

Tillräcklig area för överfläns

Dimensionerande moment i bruksstadiet, $M_{Ed.2}$ är maximala momentet och fås från beräkningar i brottsgränstillstånd.

$$M_{Ed.2} := 45.415 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

Inre hävarm:

$$\rho_2 := \frac{h_c}{2} + t_{f_{\ddot{o}}} + h_w + \frac{t_{f_u}}{2} = 2.17 \text{ m}$$

Erfodrad area undre fläns:

$$A_{f_u.Ed} := \frac{M_{Ed.2}}{\rho_2 \cdot f_y}$$

$$A_{f_u.Ed} = 0.048 \text{ m}^2$$

$$A_{f_u} := t_{f_u} \cdot b_{f_u}$$

$$A_{f_u} = 0.048 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_{f_u.Ed}}{A_{f_u}} = 0.991$$

Tillräcklig area för underfläns

4.3 Kontroll av spänningar i bruksgränstillstånd

Area för tryckarmering över b_{eff} baserat på minsta armeringsmängd:

$$A_s := 21 \cdot (0.16\text{m})^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.422 \text{ m}^2$$

Faktor för beräkning av ekvivalent stålårsnitt:

$$\alpha := \frac{E_s}{E_{\text{cm}}} = 5.556$$

Area för ekvivalent stålårsnitt:

$$A_{\text{comp}} := \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c}{\alpha} + A_{\text{balk}} + A_s = 1.004 \times 10^6 \cdot \text{mm}^2$$

$$y_s := \frac{A_{\text{fu}} \cdot \frac{t_{\text{fu}}}{2} + t_w \cdot h_w \cdot \left(t_{\text{fu}} + \frac{h_w}{2} \right) + A_{\text{fö}} \cdot \left(t_{\text{fu}} + h_w + \frac{t_{\text{fö}}}{2} \right)}{A_{\text{balk}}} = 0.853 \text{ m}$$

$$I_s := \left[\frac{b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}}^3}{12} + \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}}^3}{12} + A_{\text{fu}} \cdot (y_s - t_{\text{fu}})^2 \dots \right. \\ \left. + t_w \cdot h_w \cdot \left(t_{\text{fu}} + \frac{h_w}{2} - y_s \right)^2 + A_{\text{fö}} \cdot \left(h_s - \frac{t_{\text{fö}}}{2} - y_s \right)^2 \right] = 0.083 \text{ m}^4$$

$$A_c := h_c \cdot b_{\text{eff}} = 2.5 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c^3}{12} = 0.033 \text{ m}^4$$

$$y_{\text{comp}} := \frac{y_s \cdot A_{\text{balk}} + \left(h_s + \frac{h_c}{2} \right) \cdot \frac{A_c}{\alpha} + \left(h_s + \frac{h_c}{2} \right) \cdot A_s}{A_{\text{comp}}} = 2.023 \text{ m}$$

$$I_{\text{comp}} := \left[I_s + \frac{I_c}{\alpha} + A_{\text{balk}} \cdot (y_{\text{comp}} - y_s)^2 + \frac{A_c \cdot \left(h_s + \frac{h_c}{2} - y_{\text{comp}} \right)^2}{\alpha} \dots \right. \\ \left. + A_s \cdot \left(h_s + \frac{h_c}{2} - y_{\text{comp}} \right)^2 \right] = 0.297 \text{ m}^4$$

$$M_{Ed} := 34.01 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

ekv. 6.14b (bruksgränstillstånd)

$$\text{Spänning överkant betong: } \sigma_1 := \frac{M_{Ed} \cdot (h_s + h_c - y_{comp})}{I_{comp} \cdot \alpha} = -7.767 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Spänning tryckarmering: } \sigma_2 := \frac{M_{Ed} \cdot \left(h_s + \frac{h_c}{2} - y_{comp} \right)}{I_{comp}} = -20.279 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Spänning i underkant betong: } \sigma_3 := \frac{M_{Ed} \cdot (h_s - y_{comp})}{I_{comp} \cdot \alpha} = 0.467 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Spänning överkant balk: } \sigma_4 := \sigma_3 \cdot \alpha = 2.594 \cdot \text{MPa}$$

$$\text{Spänning underkant balk: } \sigma_5 := \frac{M_{Ed} \cdot y_{comp}}{I_{comp}} = 231.326 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_1 < 0.6 \cdot f_{ck} = 1$$

$$\sigma_2 < 0.8 \cdot f_{yk} = 1$$

$$\sigma_3 < 0.6 \cdot f_{ctm} = 1$$

$$\sigma_5 < f_y = 1$$

Ingen av spänningarna överstiger tillåten spänning

4.4 Beräkning av antal studs

Diameter för studs: $\phi := 25\text{mm}$

Kapacitet per studs: $F_{Rd} := 127\text{kN}$

Betongens area: $A_c = 2.5\text{m}^2$

Avstånd mellan tvärsnittets och balkens tyngdpunter: $a_s := y_{\text{comp}} - y_s$

Statiskt moment för balken $S_s := A_{\text{balk}} \cdot a_s$

Lasteffekt: $V_{Ed} := 4.438\text{MN}$

Spänning i snittet mellan betong och stål:

$$\tau := \frac{V_{Ed} \cdot S_s}{b_{fö} \cdot I_{\text{comp}}} = 4.197 \cdot \text{MPa}$$

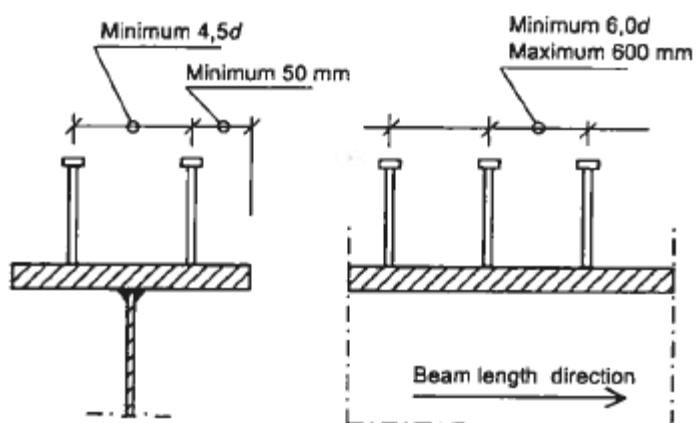
Kraft i snittet mellan stål och betong per meter:

$$F_{s,Ed} := \tau \cdot b_{fö} = 2.308 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Antal studs per meter med 3 studs i rad:

$$\frac{F_{s,Ed}}{3 \cdot F_{Rd}} = 6.058 \frac{1}{\text{m}}$$

Väljer 6 studspar per meter



Figur 34. Minsta avstånd för placering av studspar

Kontroll av minsta avstånd

Tvärled:

$$2 \cdot 50 \text{ mm} + 2 \cdot 4.5\phi < b_{f\ddot{o}} = 1$$

Klarar av minsta avstånd i tvärled

Längsled:

$$6 \cdot \phi \cdot 6 < 1 \text{ m} = 1$$

Klarar av minsta avstånd i längsled

4.5 Kontroll av tvärsnittsklass

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \text{MPa}}{f_y}} = 0.731$$

$$d := h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a \quad d = 1.856 \text{ m}$$

$$c_{f\ddot{o}} := \frac{b_{f\ddot{o}} - t_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a}{2}$$

$$c_{f_u} := \frac{b_{f_u} - t_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a}{2}$$

Livplåt:

$$\frac{d}{t_w} = 61.869$$

$$83 \cdot \varepsilon < \frac{d}{t_w} < 124 \varepsilon = 1 \quad \text{Tvärsnittsklass 3}$$

Flänsplåt:

$$\frac{c_{f_u}}{t_{f_u}} = 6.134 \quad \frac{c_{f\ddot{o}}}{t_{f\ddot{o}}} = 4.861$$

$$\frac{c_{f_u}}{t_{f_u}} < 9 \cdot \varepsilon = 1 \quad \text{Tvärsnittsklass 1}$$

$$\frac{c_{f\ddot{o}}}{t_{f\ddot{o}}} < 9 \cdot \varepsilon = 1 \quad \text{Tvärsnittsklass 1}$$

4.6 Kontroll av tvärkraft

Bärförmåga för skjuvbuckling:

Faktor som beaktar bidraget från stålets töjningshårdnande:

$$\eta := 1.2$$

$$k_{\tau} := 5.34$$

Partialkoefficient för stål:

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$\frac{h_w}{t_w} < 31 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \cdot \sqrt{k_{\tau}} = 0 \quad (\text{S5-19})$$

Det föreligger risk för skjuvbuckling

Plåtens slankhet beräknas:

$$\lambda_w := \frac{\left(\frac{h_w}{t_w} \right)}{37.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}}} = 0.997 \quad (\text{S5-21})$$

Skjuvbucklingskoefficienten beräknas:

$$\chi_w := \frac{0.83}{\lambda_w} = 0.832 \quad (\text{Tabell S5.1})$$

Tvärkraftskapaciteten för balken:

$$V_{bw.Rd} := \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \quad (\text{S5-20})$$

$$V_{bw.Rd} = 11.986 \cdot \text{MN}$$

$$0.5V_{bw.Rd} > V_{Ed} = 1$$

Interaktion mellan tvärkraft och moment behöver inte kontrolleras

4.7 Kontroll av nedböjning

Punktlast från formel 6.15b: $P := 684.783 \text{ kN}$

Utbredd last från formel 6.15b: $q := 106.042 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Nedböjning från elementarfall: $w := \frac{P \cdot L_{\text{bro}}^3}{48 \cdot E_s \cdot I_{\text{comp}}} + \frac{q \cdot 5 \cdot L_{\text{bro}}^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{\text{comp}}} = 0.075 \text{ m}$

Tillåten nedböjning: $\frac{L_{\text{bro}}}{400} = 0.1 \text{ m}$

$$w < \frac{L_{\text{bro}}}{400} = 1$$

Nedböjningen överskrider ej tillåten nedböjning.

5 CALFEM-beräkningar för nedböjning i tvärled

Beräkningar av tvärsnittets nedböjning baseras på strukturmekanik där flera mindre element sammanfogas till strukturer. Genom att använda programmet CALFEM i MatLab beräknas förskjutningar och kraftresultanter i varje element utifrån elementens styvhet (beroende på elasticitetsmodul, yttröghetsmoment och elementens tvärsnittsarea).

För att beräkna tvärsnittets nedböjning i olika punkter skapas noder vid varje lastförändring. Sträckan mellan noderna utgör ett element. Varje nod har tre frihetsgrader som representerar nodernas förskjutning i x- och y-led samt rotation.

Beräkningarna baseras på ekvationen:

$$\mathbf{K}\mathbf{a}=\mathbf{f}$$

Där

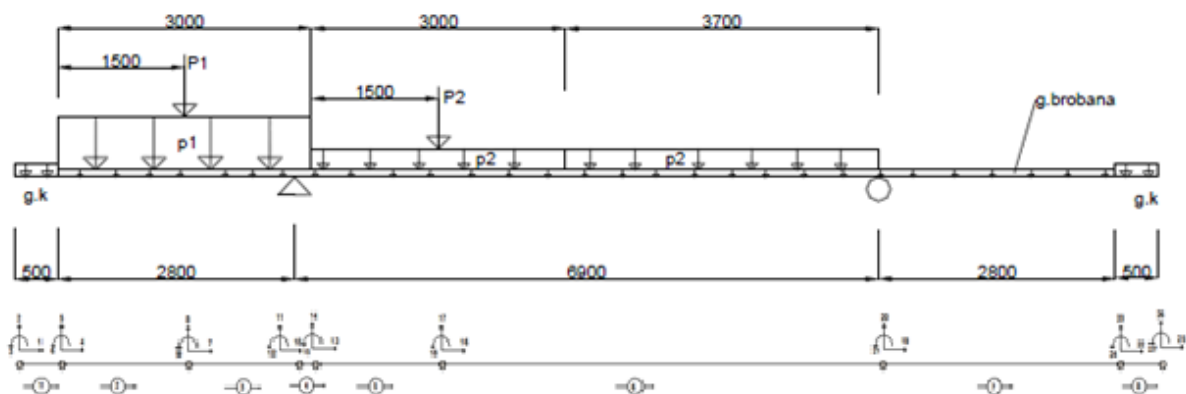
\mathbf{K} är strukturens styvhetsmatris. \mathbf{K} är uppbyggd av styvhetsmatriserna för varje element.

\mathbf{a} är en vektor innehållande nodernas förskjutningar.

\mathbf{f} är en vektor innehållande krafterna som verkar på varje element. \mathbf{f} består av \mathbf{f}_l (yttre laster) och \mathbf{f}_b (upplagskrafter).

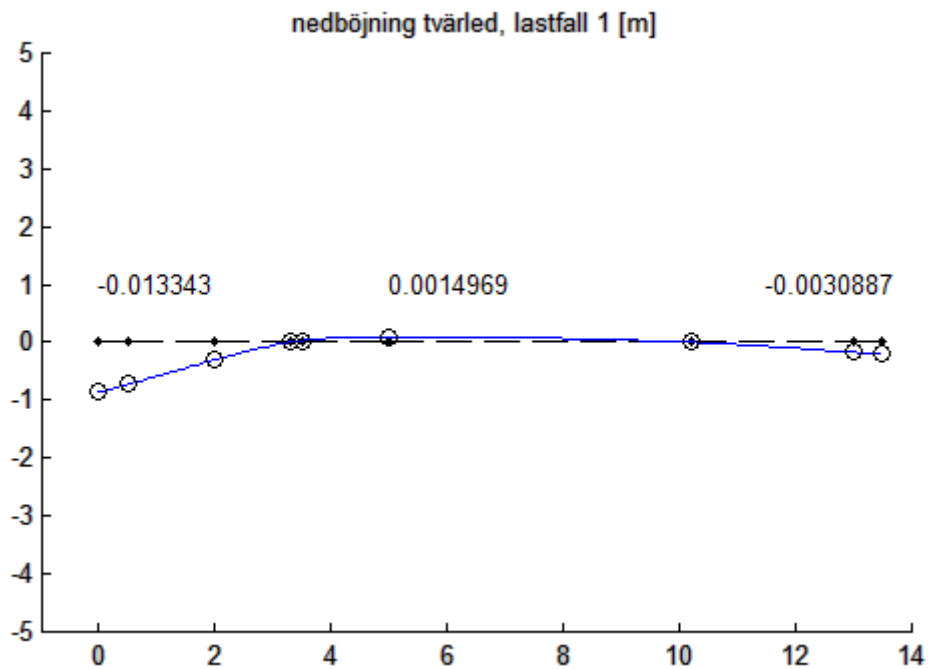
5.1 Lastfall 1

För att få en fungerande beräkningsmodell för lastfall 1 krävs 9 noder och 8 element. Detta resulterar i 27 frihetsgrader. På grund av balkens upplagsvillkor sätts frihetsgrad 10 (förskjutning x-led), 11 (förskjutning y-led) och 20 (förskjutning y-led) till 0.



Figur 35. Nodindelning för lastfall 1.

Beräkningarna resulterar i följande nedböjningsmodell:



Figur 36. Nedböjning för lastfall 1.

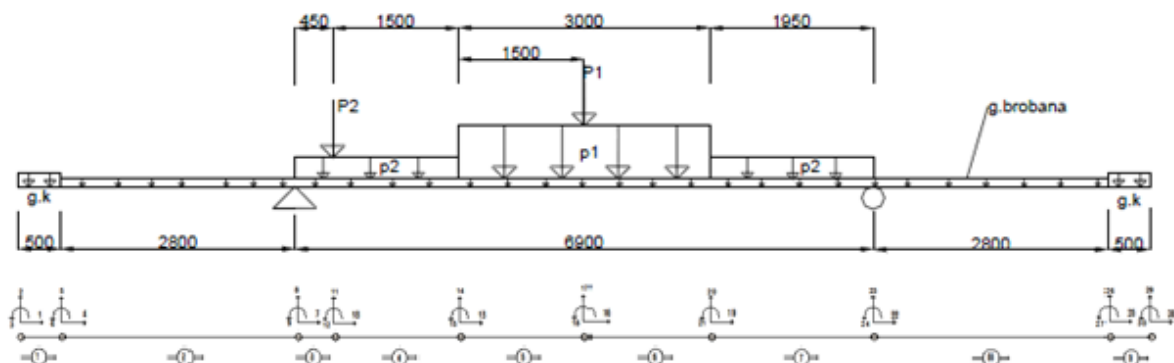
Enligt TRVK Bro 11 avsnitt B.3.4.2.2 får nedböjningen inte överstiga $1/400$ av den teoretiska spännvidden.

$$\frac{13.5}{400} = 0.03375 \text{ [m]}$$

Den maximala nedböjningen för lastfall 1 på 0,013343 m uppfyller kravet på största tillåtna nedböjning.

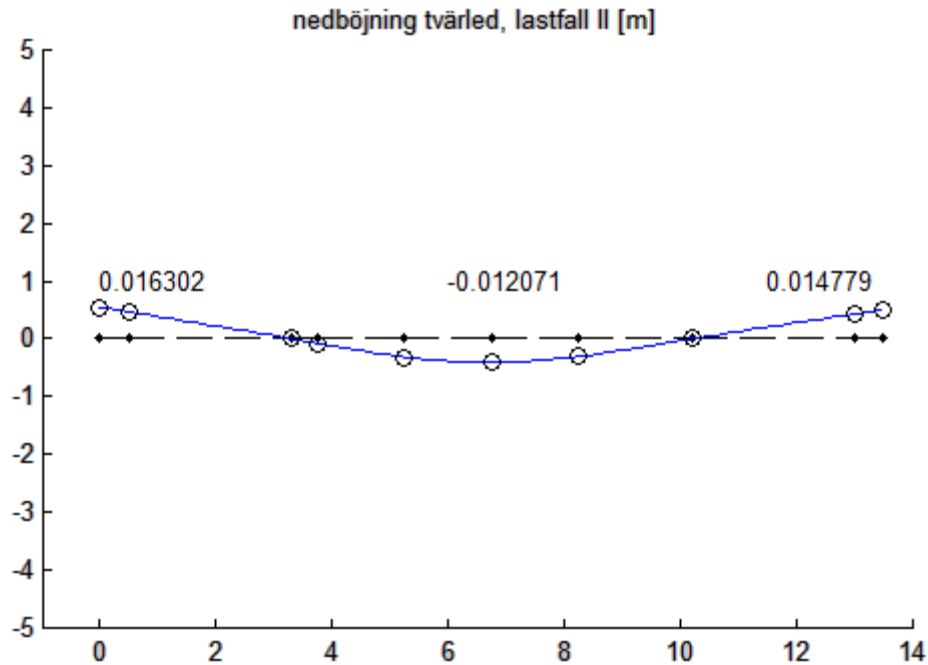
5.2 Lastfall 2

För att få en fungerande beräkningsmodell för lastfall 1 krävs 10 noder och 9 element. Detta resulterar i 30 frihetsgrader. På grund av balkens upplagsvillkor sätts frihetsgrad 7 (förskjutning x-led), 8 (förskjutning y-led) och 23 (förskjutning z-led) till 0.



Figur 37. Nodindelning för lastfall 2.

Beräkningarna resulterar i följande nedböjningsmodell:



Figur 38. Nedböjning för lastfall 2.

Enligt TRVK Bro 11 avsnitt B.3.4.2.2 får nedböjningen inte överstiga $1/400$ av den teoretiska spännvidden.

$$\frac{13.5}{400} = 0.03375 [m]$$

Den maximala nedböjningen för lastfall 1 på 0,016302 m uppfyller kravet på största tillåtna nedböjning.

Nedan följer MatLab-koden som använts för beräkningarna:

```
close all
clear all

echo on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Beräkningar av nedböjning, tvärled. lastfall I.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Definiera geometri och materialegenskaper för tvärsnittet
Ec = 36e9; % Betongens elasticitetsmodul

Es = 200e9; % Stålets elasticitetsmodul

Asf = 6.283e-3

Asf =

    0.0063

Ass = 5.655e-3

Ass =

    0.0057

As = (Asf+Ass)/2 % Genomsnittlig area stål

As =

    0.0060

A = 0.4; % Area tvärsnittet

E = (Ec*(A-As)+Es*As)/A; % Medelvärde på elasticitetsmodul

Iosprucket = (1*0.4^3)/12; % Yttröghetsmoment osprucket tvärsnitt

Isprucket = 3.386e-3; % Yttröghetsmoment sprucket tvärsnitt

% Definiera krafter
P1 = 202.5e3

P1 =

    202500

P2 = 135e3

P2 =

    135000

p1 = 2.52e3
```

```
p1 =  
    2520  
  
p2 = 1e3  
  
p2 =  
    1000  
  
gbro = 12.3e3          % Egentyngd brobana  
  
gbro =  
    12300  
  
gkb = 13e3           % Egentyngd kantbalk  
  
gkb =  
    13000  
  
% Skapa topologimatrix  
edof = [1 1 2 3 4 5 6  
        2 4 5 6 7 8 9  
        3 7 8 9 10 11 12  
        4 10 11 12 13 14 15  
        5 13 14 15 16 17 18  
        6 16 17 18 19 20 21  
        7 19 20 21 22 23 24  
        8 22 23 24 25 26 27];  
  
% Skapa styvhetsmatrix och lastvektor  
K = zeros(27);  
f = zeros(27,1);  
f(8)=-P1;  
f(17)=-P2;  
  
% Definiera elementegenskaper för tvärsnittet. Tvärsnittet befinner sig i  
% uppsprucket tillstånd mellan 2 och 5 meter  
ep1 = [E A Iosprucket];  
ep2 = [E A Isprucket];  
  
% Definiera koordinaterna för tvärsnittets noder  
Coord = [0 0  
         0.5 0  
         2 0  
         3.3 0  
         3.5 0  
         5 0  
         10.2 0  
         13 0  
         13.5 0];  
  
% Definiera frihetsgrader för tvärsnittet
```

```
dof = [1 2 3
       4 5 6
       7 8 9
      10 11 12
      13 14 15
      16 17 18
      19 20 21
      22 23 24
      25 26 27];

% Koordinaterna för tvärsnittet placeras in i en matris
[Ex,Ey] = coordxtr(edof,Coord,dof,2)

Ex =

    0    0.5000
  0.5000    2.0000
  2.0000    3.3000
  3.3000    3.5000
  3.5000    5.0000
  5.0000   10.2000
 10.2000   13.0000
 13.0000   13.5000

Ey =

    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0

% Definiera utbredd last och tvärsnittsegenskaper
eq = [0 -gkb
      0 -p1-gbro
      0 -p1-gbro
      0 -p1-gbro
      0 -p2-gbro
      0 -p2-gbro
      0 -gbro
      0 -gkb];

ep = [ep1
      ep1
      ep2
      ep2
      ep2
      ep1
      ep1
      ep1];
```



```
% Generera och assemblera styvhetsmatriser och lastvektorer för tvärsnittet
```

```
for i=1:8
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));  
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);
```

```
end
```

```
% Definiera randvillkor
```

```
bc = [10 0; 11 0; 20 0]
```

```
bc =
```

```
    10     0  
    11     0  
    20     0
```

```
% Lös ekvationssystemet
```

```
[a,r] = solveq(K,f,bc);
```

```
disp(a)
```

```
     0  
-0.0133  
  0.0043  
     0  
-0.0112  
  0.0043  
     0  
-0.0047  
  0.0043  
     0
```

```

0
0.0024
0
0.0004
0.0019
0
0.0015
-0.0000
0
0
-0.0007
0
-0.0026
-0.0010
0
-0.0031
-0.0010

disp(max(abs(a)))           % Kontrollera att värdet gäller för
0.0133

                                % förskjutning i y-led

% Plotta nedböjningen
Ed = extract(edof,a)         %skapa matris med element displacement

Ed =

    0   -0.0133    0.0043         0   -0.0112    0.0043
    0   -0.0112    0.0043         0   -0.0047    0.0043
    0   -0.0047    0.0043         0         0    0.0024
    0         0    0.0024         0    0.0004    0.0019
    0    0.0004    0.0019         0    0.0015   -0.0000
    0    0.0015   -0.0000         0         0   -0.0007
    0         0   -0.0007         0   -0.0026   -0.0010
    0   -0.0026   -0.0010         0   -0.0031   -0.0010

figure(2);
plotpar = [2 1 0];
for i=1:8
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
end
sfac=scalfact2(Ex(8,:), Ey(8,:), Ed(8,:), 0.4);
plotpar = [1 2 1];
for i=1:8
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:),plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:),plotpar, sfac);

```

```

    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
end
axis([-1 14 -5 5]);

varde1=num2str(a(2));
text(0,1,varde1);
varde2=num2str(a(17));
text(5,1,varde2);
varde3=num2str(a(26));
text(11.5,1,varde3);

title('nedböjning tvärled, lastfall 1 [m]');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Beräkningar av nedböjning, tvärled. lastfall II.%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Definiera geometri och materialegenskaper för tvärsnittet
Ec = 36e9; % Betongens elasticitetsmodul

Es = 200e9; % Stålets elasticitetsmodul

Asf = 6.283e-3

Asf =

    0.0063

Ass = 5.655e-3

Ass =

    0.0057

As = (Asf+Ass)/2 % Genomsnittlig area stål

As =

    0.0060

A = 0.4; % Area tvärsnittet

E = (Ec*(A-As)+Es*As)/A; % Medelvärde på elasticitetsmodul

Iosprucket = (1*0.4^3)/12; % Yttröghetsmoment osprucket tvärsnitt

Isprucket = 2.846e-3; % Yttröghetsmoment sprucket tvärsnitt

% Definiera krafter
P1 = 202.5e3/1.2 % Punktlasterna reduceras med 1.2 på grund av

```

```
P1 =  
    168750  
  
P2 = 135e3/1.2          % lastspridning över plattan  
  
P2 =  
    112500  
  
p1 = 2.52e3  
  
p1 =  
    2520  
  
p2 = 1e3  
  
p2 =  
    1000  
  
gbro = 12.3e3          % Egentyngd brobana  
  
gbro =  
    12300  
  
gkb = 13e3            % Egentyngd kantbalk  
  
gkb =  
    13000  
  
% Skapa topologimatrix  
edof = [1 1 2 3 4 5 6  
        2 4 5 6 7 8 9  
        3 7 8 9 10 11 12  
        4 10 11 12 13 14 15  
        5 13 14 15 16 17 18  
        6 16 17 18 19 20 21  
        7 19 20 21 22 23 24  
        8 22 23 24 25 26 27  
        9 25 26 27 28 29 30];  
  
% Skapa styvhetsmatrix och lastvektor  
K = zeros(30);  
f = zeros(30,1);  
f(11)=-P2;  
f(17)=-P1;  
  
% Definiera elementegenskaper för tvärsnittet. Tvärsnittet befinner sig i  
% uppsprucket tillstånd mellan 4 och 9 meter
```

```
ep1 = [E A Iosprucket];
ep2 = [E A Isprucket];

% Definiera koordinaterna för tvärsnittets noder
Coord = [0 0
         0.5 0
         3.3 0
         3.75 0
         5.25 0
         6.75 0
         8.25 0
         10.2 0
         13 0
         13.5 0];

% Definiera frihetsgrader för tvärsnittet
dof = [1 2 3
       4 5 6
       7 8 9
       10 11 12
       13 14 15
       16 17 18
       19 20 21
       22 23 24
       25 26 27
       28 29 30];

% Koordinaterna för tvärsnittet placeras in i en matris
[Ex,Ey] = coordxtr(edof,Coord,dof,2)

Ex =

    0    0.5000
  0.5000    3.3000
  3.3000    3.7500
  3.7500    5.2500
  5.2500    6.7500
  6.7500    8.2500
  8.2500   10.2000
 10.2000   13.0000
 13.0000   13.5000

Ey =

    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
    0    0
```

```

% Definiera utbredd last och tvärsnittsegenskaper
eq = [0 -gkb
      0 -gbro
      0 -p2-gbro
      0 -p2-gbro
      0 -p1-gbro
      0 -p1-gbro
      0 -p2-gbro
      0 -gbro
      0 -gkb];

ep = [ep1
      ep1
      ep1
      ep2
      ep2
      ep2
      ep2
      ep1
      ep1];

% Generera och assemblera styvhetsmatriser och lastvektorer för tvärsnittet

for i=1:9

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

    [Ke fe] = beam2e(Ex(i,:), Ey(i,:), ep(i,:), eq(i,:));
    [K f] = assem(edof(i,:), K, Ke, f, fe);

end

```

```
% Definiera randvillkor
bc = [7 0;8 0; 23 0]

bc =

     7     0
     8     0
    23     0

% Lös ekvationssystemet
[a,r] = solveq(K,f,bc);

disp(a)
     0
    0.0163
   -0.0048
     0
    0.0139
   -0.0048
     0
     0
   -0.0052
     0
   -0.0024
   -0.0052
     0
   -0.0093
   -0.0036
     0
   -0.0121
    0.0001
     0
   -0.0089
    0.0037
     0
     0
    0.0048
     0
    0.0126
    0.0044
     0
    0.0148
    0.0044

disp(max(abs(a)))           % Kontrollera att värdet gäller för
    0.0163

                               % förskjutning i y-led

% Plotta nedböjningen
Ed = extract(edof,a)        %skapa matris med element displacement

Ed =
```

0	0.0163	-0.0048	0	0.0139	-0.0048
0	0.0139	-0.0048	0	0	-0.0052
0	0	-0.0052	0	-0.0024	-0.0052
0	-0.0024	-0.0052	0	-0.0093	-0.0036
0	-0.0093	-0.0036	0	-0.0121	0.0001
0	-0.0121	0.0001	0	-0.0089	0.0037
0	-0.0089	0.0037	0	0	0.0048
0	0	0.0048	0	0.0126	0.0044
0	0.0126	0.0044	0	0.0148	0.0044

```

figure(1);
plotpar = [2 1 0];
for i=1:9
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
    eldraw2(Ex(i,:), Ey(i,:), plotpar);
end
sfac=scalfact2(Ex(9,:), Ey(9,:), Ed(9,:), 1);
plotpar = [1 2 1];
for i=1:9
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
    eldisp2(Ex(i,:), Ey(i,:), Ed(i,:), plotpar, sfac);
end
axis([-1 14 -5 5]);

varde1=num2str(a(2));
text(0,1,varde1);
varde2=num2str(a(17));
text(6,1,varde2);
varde3=num2str(a(29));
text(11.5,1,varde3);

title('nedböjning tvärled, lastfall II [m]');
>>

```


Bilaga 3 – Kostnadsberäkning

Kostnadsberäkning för bron

Här görs en överslagsberäkning för total brokostnad utgående från de schablonskostnader från COWI.

Kostnad för betong inkl form och gjutning

kr := 1

$$K_{\text{betong}} := \frac{2500 \cdot \text{kr}}{\text{m}^3}$$

Kostnad för armering inlagd, bockad och klar.

$$K_{\text{armering}} := \frac{15 \cdot \text{kr}}{\text{kg}}$$

Kostnad för svetsade stål balkarna inkl ytbehandling odyt

$$K_{\text{stål balkar}} := \frac{60 \cdot \text{kr}}{\text{kg}}$$

Dimensioner för betongen

Längd på bron $L_{\text{bro}} := 40\text{m}$

Bredden på bron $L_{\text{bro bana}} := 12.5\text{m}$

Bredd på kantbalken $b_k := 0.5\text{m}$

Höjd på brobanan $h_c := 0.4\text{m}$

Höjd på kantbalken $h_k := 0.5\text{m}$

Volym för betongen

$$V_{\text{betong}} := L_{\text{bro}} \cdot (L_{\text{bro bana}} \cdot h_c + b_k \cdot h_k) = 210 \cdot \text{m}^3$$

$$K_{\text{betong,tot}} := K_{\text{betong}} \cdot V_{\text{betong}} = 5.25 \times 10^5 \cdot \text{kr}$$

D.v.s 525 000 kronor

Dimensioner för armering

Armerings diameter tvärled $\theta_t := 20\text{mm}$

Armerings diameter längsled $\theta_l := 16\text{mm}$

Area tvärled $A_t := \frac{\theta_t^2 \cdot \pi}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Area längsled $A_l := \frac{\theta_l^2 \cdot \pi}{4} = 2.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Tvärled

Armeringsjärn över stöd $n_{s,s} := 14$

Armeringsjärn över stöd $n'_{s,s} := 4$

Från beräkningar i tvärled

Armeringsjärn över fält $n_{s,f} := 16$

Armeringsjärn över fält $n'_{s,f} := 4$

Avkortning över stöd och över fält ger:

Längd på 12st armeringsjärn över fält $l_{s,f} := 6\text{m}$

Längd på 10st armeringsjärn över två stöd $l_{s,s} := 2 \cdot 1.9\text{m} = 3.8\text{m}$

Längd på 4st armeringsjärn som går oavkortat ovkant $L_{\text{brobana}} = 12.5\text{m}$

Längd på 4st armeringsjärn som går oavkortat underkant $L_{\text{brobana}} = 12.5\text{m}$

$$V_{\text{armering.tvärled}} := \frac{L_{\text{bro}}}{\text{m}} \cdot \left[A_t \cdot \left[(n'_{s,f} + n'_{s,s}) \cdot L_{\text{brobana}} + 12 \cdot l_{s,f} + 10 \cdot l_{s,s} \right] \right] = 2.639 \cdot \text{m}^3$$

Längsled

Armeringen sitter med cc 300mm över hela brobanan

Antal armeringsjärn $n_l := \frac{L_{\text{brobana}}}{300\text{mm}} = 41.667$

$$V_{\text{armering.längsled}} := n_l \cdot A_l \cdot L_{\text{bro}} = 0.335 \cdot \text{m}^3$$

Total armeringsmängd

$$V_{\text{armering}} := V_{\text{armering.tvärled}} + V_{\text{armering.längsled}} = 2.974 \cdot \text{m}^3$$

Kostnad armeringsjärn

$$\text{Densitet stål} \quad \rho_{\text{stål}} := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{\text{armering.tot}} := V_{\text{armering}} \cdot K_{\text{armering}} \cdot \rho_{\text{stål}} = 3.502 \times 10^5 \cdot \text{kr}$$

D.v.s 350 500 kronor

Dimensioner stålbalkarna

$$\text{Stålbalkens totalhöjd:} \quad h := 2 \text{ m}$$

$$\text{Överflänsens bredd:} \quad b_{\text{fö}} := 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Överflänsens tjocklek:} \quad t_{\text{fö}} := 0.05 \text{ m}$$

$$\text{Underflänsens bredd:} \quad b_{\text{fu}} := 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Underflänsens tjocklek:} \quad t_{\text{fu}} := 0.06 \text{ m}$$

$$\text{Livets bredd:} \quad t_{\text{w}} := 0.03 \text{ m}$$

$$\text{Livets höjd:} \quad h_{\text{w}} := h - t_{\text{fö}} - t_{\text{fu}} = 1.89 \text{ m}$$

$$\text{Tvärsnittsarea} \quad A_{\text{stålbalkar}} := b_{\text{fö}} \cdot t_{\text{fö}} + b_{\text{fu}} \cdot t_{\text{fu}} + t_{\text{w}} \cdot h_{\text{w}} = 0.132 \text{ m}^2$$

$$\text{Volym} \quad V_{\text{stålbalkar}} := 2 \cdot L_{\text{bro}} \cdot A_{\text{stålbalkar}} = 10.576 \cdot \text{m}^3$$

$$\text{Kostnad stålbalkar} \quad K_{\text{stålbalkar.tot}} := K_{\text{stålbalkar}} \cdot V_{\text{stålbalkar}} \cdot \rho_{\text{stål}} = 4.981 \times 10^6 \cdot \text{kr}$$

D.v.s 4 981 000 kr

Total kostnad för broarna

$$K_{\text{tot}} := 2(K_{\text{stålbalkar.tot}} + K_{\text{armering.tot}} + K_{\text{betong.tot}}) = 1.171 \times 10^7 \cdot \text{kr}$$

D.v.s 11.7 miljoner kronor

I den här överslagsberäkningen ingår endast kostnader för själva bron. Kostnader för grundläggning osv. tillkommer.